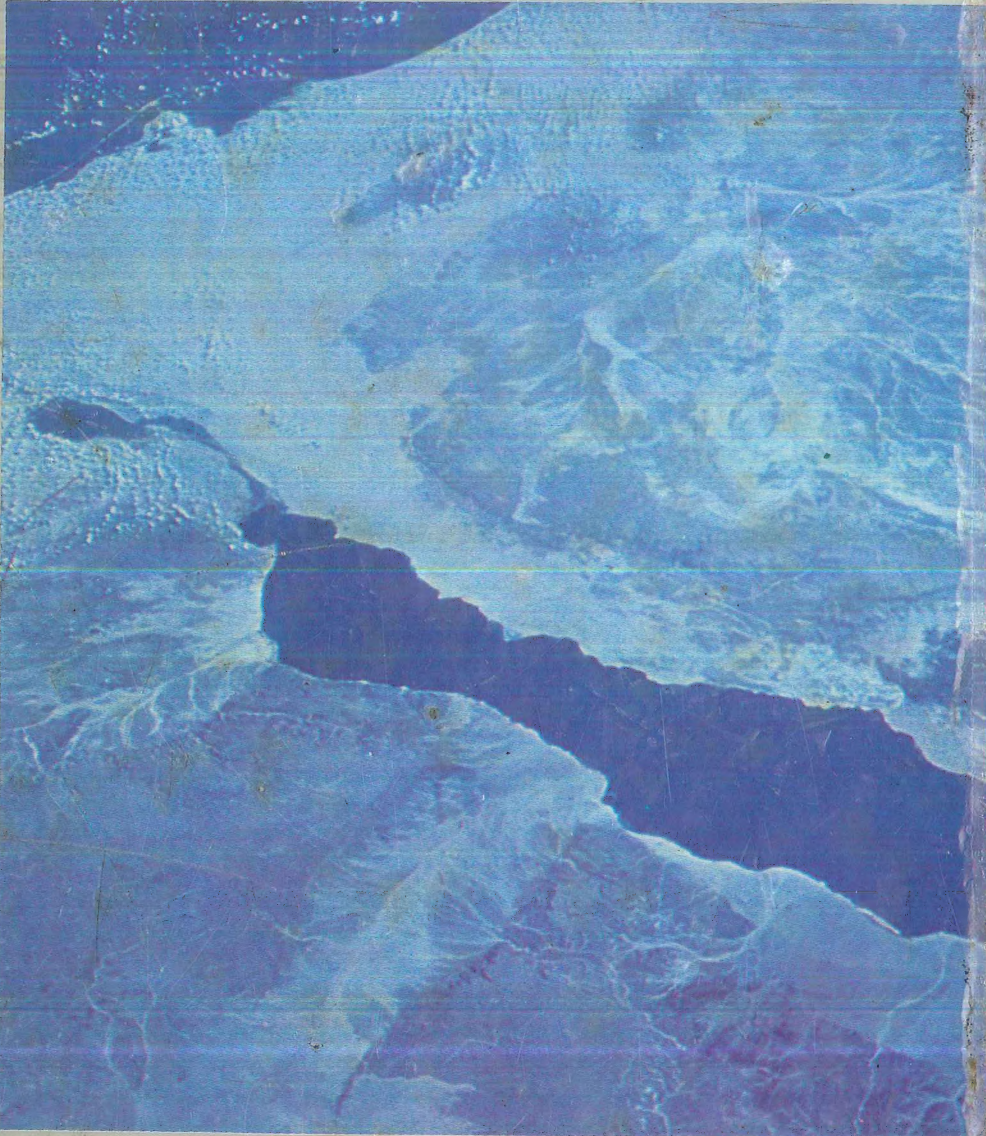
الأرض

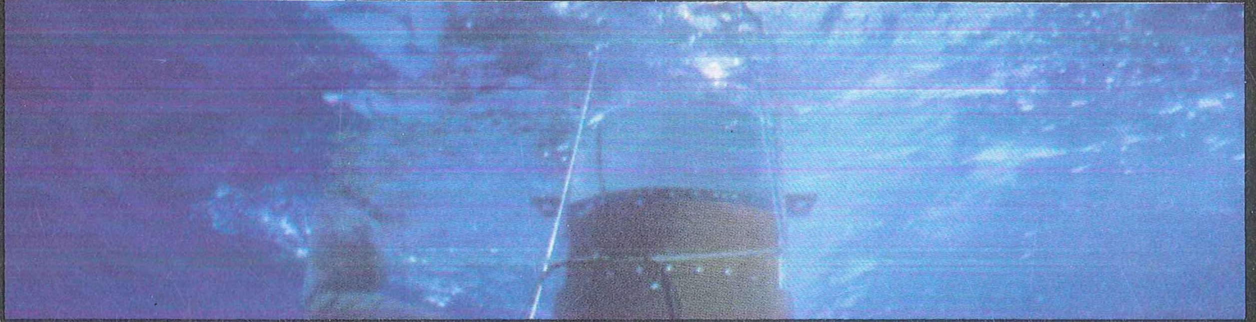
مقدمة للجيولوجيا الطبيعية



لوتجنز

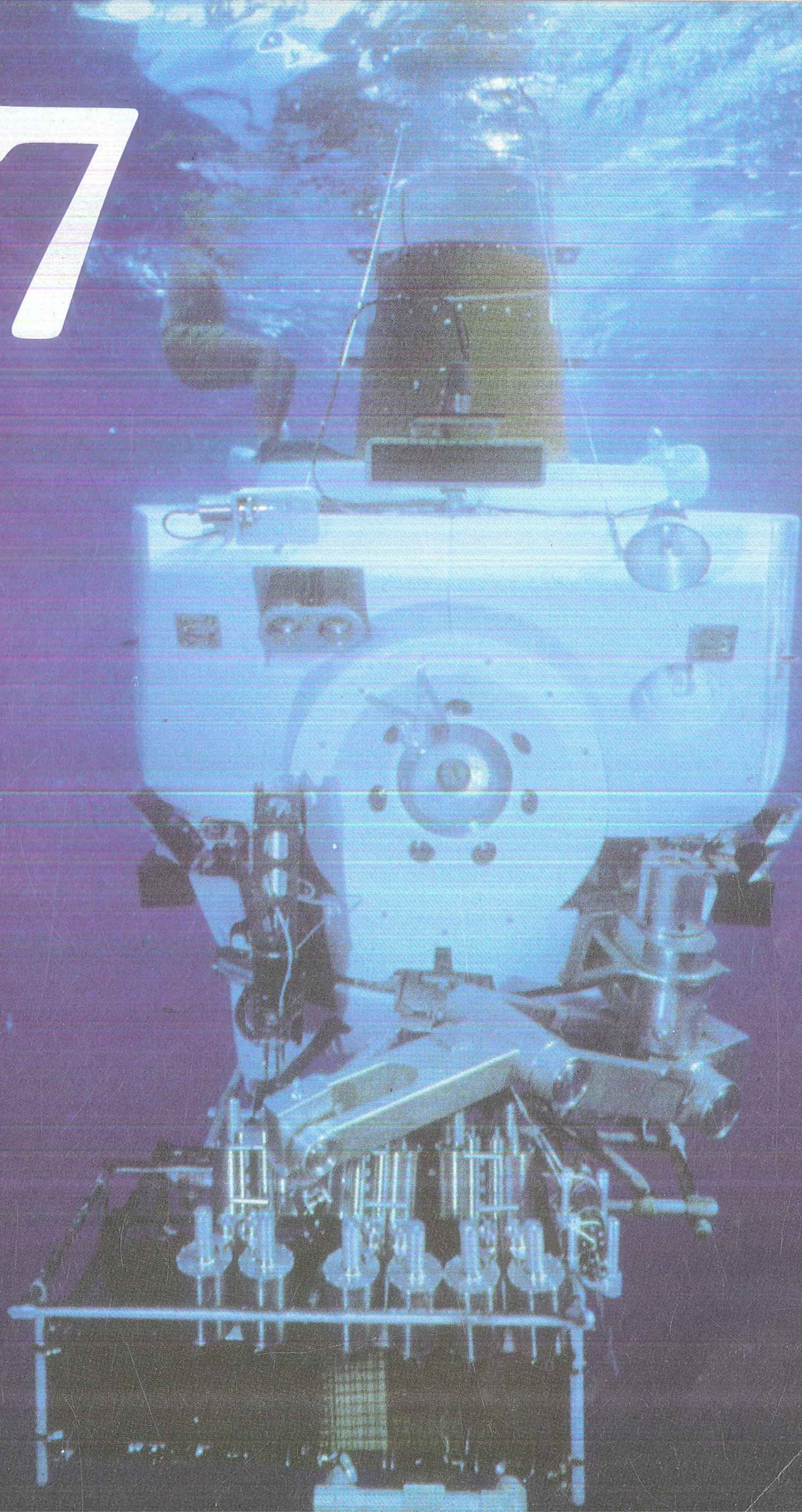
ترجمة:
د. عمر سليمان حموده
د. البهلول على اليعقوبى
د. مصطفى جمعه سالم

17



طبيعة قاع المحيط وتطوره

17



حواف القارات

الأخاديد البحرية وتيارات العكر

ملامح الأحواض العميقة للمحيطات

- خنادق أعماق المحيطات
- سهول اللج
- القمم البركانية

الشِعَب والجزر المرجانية

رسوبيات قاع المحيط

مرتفعات وسط المحيط

طبيعة قاع المحيط وإنفراجه

إنفتاح وانغلاق الأحواض المحيطية الترسيبية

البنجيا: ما قبلها وما بعدها

- إنقسام البنجيا
- ما قبل البنجيا
- نظرة الى المستقبل

إذا ما جفّت كل المحيطات فإن سطحها لن يكون كما كان يتوقعه الكثير منا، بل سنجد ظواهر طبوغرافية متباينة تشمل سلاسل الجبال الشاهقة والوديان الضيقة والعميقة الى جانب السهول المنبسطة. أى أن معالم الطبوغرافية ستختلف فى أشكالها كما هو الحال عليه فوق اليابسة (شكل 17 ـ 1) وبالرغم من أن أبعاد المحيطات كانت قد اكتشفت خلال القرنين الخامس والسادس عشر من الميلاد الا أن طبيعة طبوغرافيتها لم يتم التعرف عليها الا فى وقت متأخر. وترجع بداية ذلك الى رحلة السفينة المتحدّى البريطانية

غواصة الأبحاث ألفن.

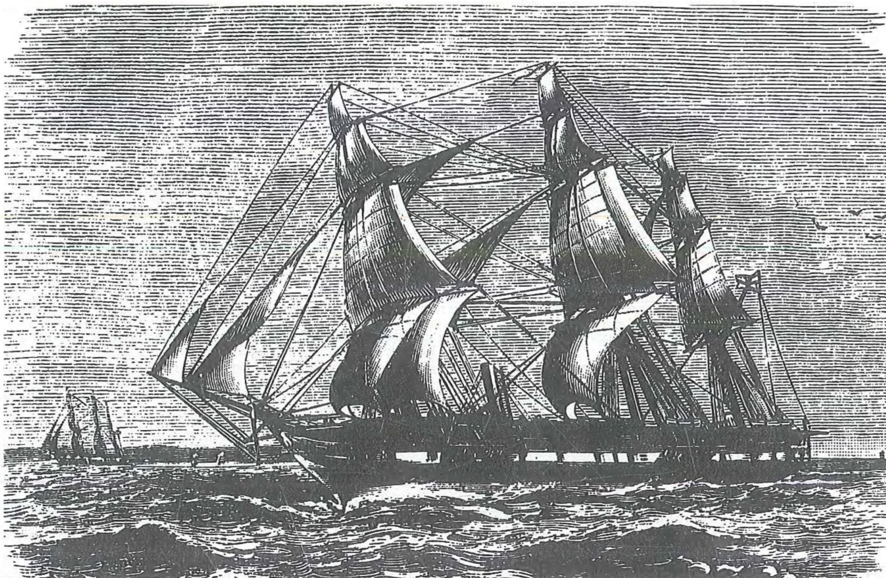
(شكل 17 ـ 2) التى دامت ثلاث سنوات ونصف بين شهرى كانون (ديسمبر) 1872 والماء (مايو) 1876 م. وقد قامت هذه السفينة بأول، وربما اكبر، دراسة شاملة لمحيطات الكرة الأرضية سبق وأن قام بها طرف واحد. وقد جابت السفينة بعلمائها جميع محيطات العالم عدى المحيط المتجمد الشمالى قاطعة مسافة 110,000 كيلومتر. وطوال هذه الرحلة كان العلماء يقومون بقياس اعماق المحيطات مباشرة عن طريق انزال ثقل الى القاع. وبعد سنوات قليلة من رحلة السفينة المتحدى تم الحصول على معلومات أكثر بعد مد أسلاك الاتصال عبر المحيط الأطلسى. وطالما كان بالضرورة أن نقيس عمق المحيطات مباشرة بقيت معرفتنا فى هذا الشأن محدودة الى أن تم اكتشاف جهاز قياس الأعماق الالكترونية (**مقياس العمق الصوتى**) خلال العشرينات من هذا القرن.

ويعمل مقياس العمق الصوتى بإرسال موجات صوتية من السفينة تجاه قاع المحيط ويتم استقبال صداها بواسطة جهاز حساس، مع وجود ساعة فائقة الدقة لقياس الفترة الزمنية الى الجزء من الثانية. وبمعرفة سرعة موجات الصوت فى الماء (حوالى 1500 متر فى الثانية) وزمن وصول الذبذبة يمكن حساب العمق بدقة متناهية. ويتم توقيع الأعماق المستحدثة من القياسات المستمرة على منحنيات تعكس طبوغرافية المحيطات. وعند اكتشاف مقياس العمق الصوتى تم قياس أعماق على طول ملايين الكيلومترات بمحيطات العالم والتى وافتنا بمنظر أدق لشكل قيعانها.

وقد قام متخصصى علم البحار المنكبّين على دراسة طبوغرافية أحواض المحيطات بتقسيمها الى ثلاث وحدات رئيسة: حواف القارات، قيعان وسط المحيطات ومرتفعات وسط المحيطات. ويوضح الشكل 17 ـ 4 هذه المناطق بشمال المحيط الأطلسى، كما ويبين القطاع أسفله طبوغرافيتها. وعادة ما يتم تكبير مقياس الرسم الرأسى عدة مرات ـ 40 مرّة فى هذه الحالة ـ وذلك لجعل الطبوغرافية اكثر وضوحا. ولهذا السبب ترى المنحدرات على قطاع قاع المحيط اكثر انحدارا من الواقع.

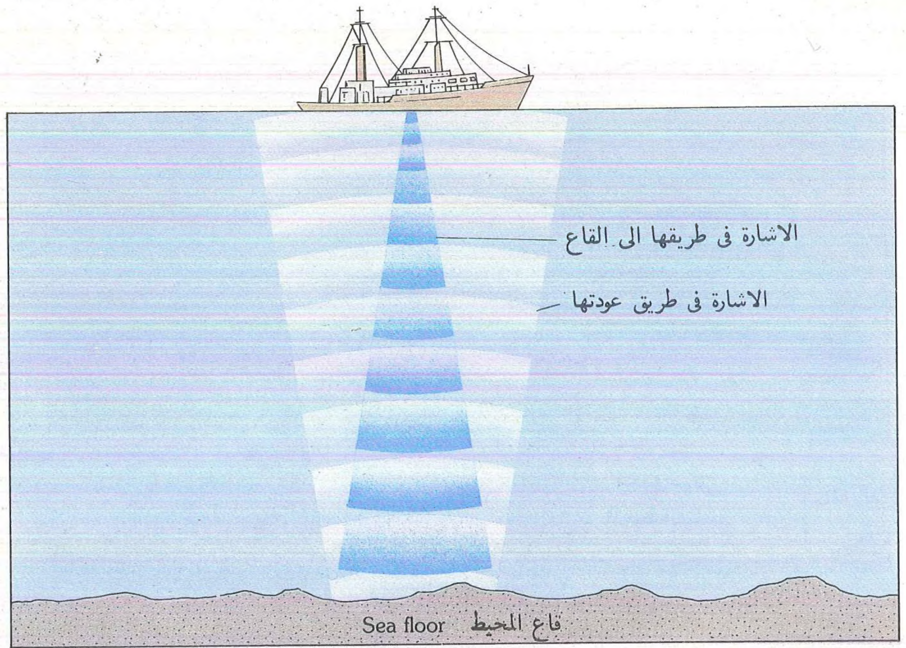
شكل 17 ـ 1

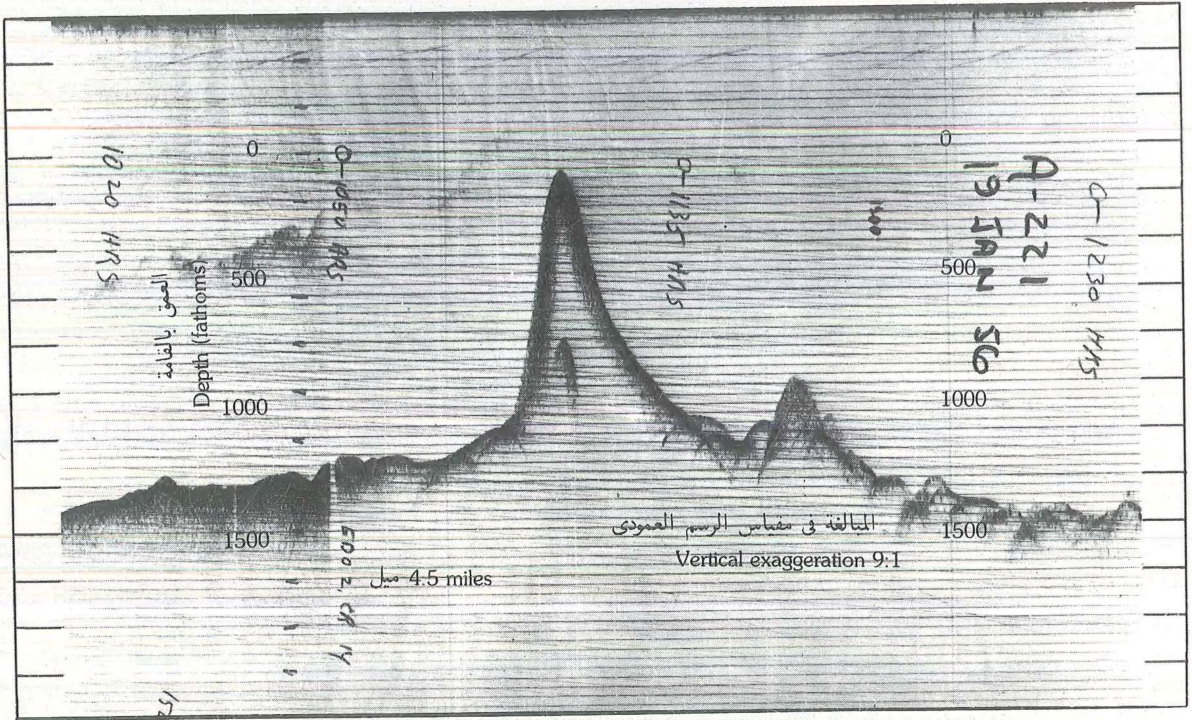
يتميز قاع المحيط بالكثير من المعالم المتباينة الأشكال. يبين الشكل اعلاه منظر لقاع المحيط اذا ما أزيحت مياهه.



شكل 17 ـ 2

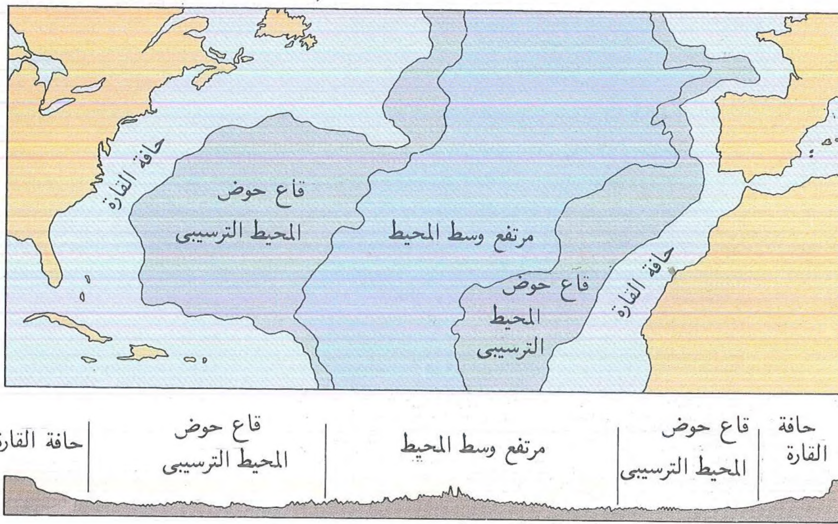
سفينة الابحاث المتحدى





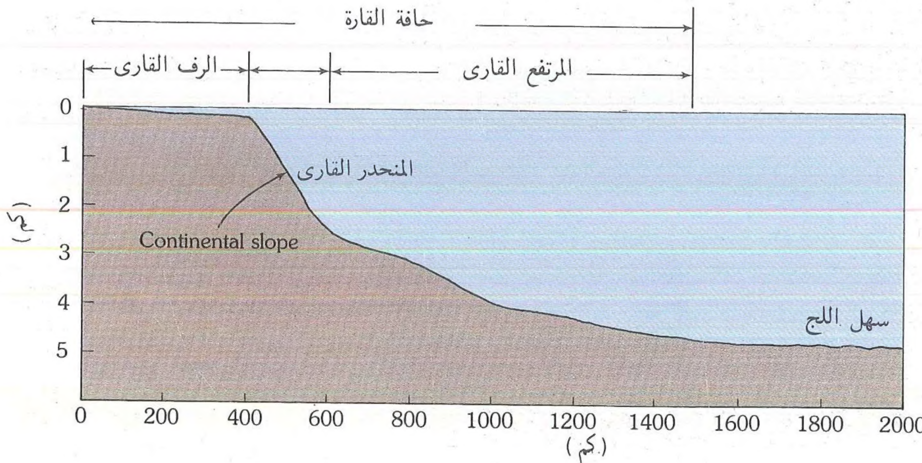
شكل 17 ـ 3

قطاع جانبى خلال قاع المحيط (أ) ـ يقدر جهاز مقياس العمق الصوتى بحساب الزمن الذى تستغرقه موجة صوتية للتنقل من السفينة الى القاع ورجوعها ثانية. العمق = $\frac{1}{2}$ × زمن الانتقال (سرعة الصوت = 1500 م فى الثانية). (ب) ـ قطاع طولى تم رسمه بجهاز قياس العمق.



شكل 17 ـ 4

التقسيمات الرئيسية لطبوغرافية شمال المحيط الأطلسى مع قطاع طولى من امريكا الشمالية الى افريقيا.



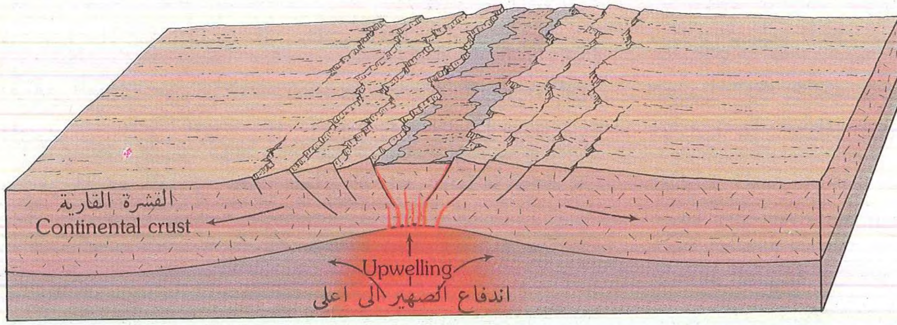
شكل 17 ـ 5

رسم تخطيطى يبين معالم حافة القارة (المبالغة فى مقياس الرسم العمودى = 1 : 135).

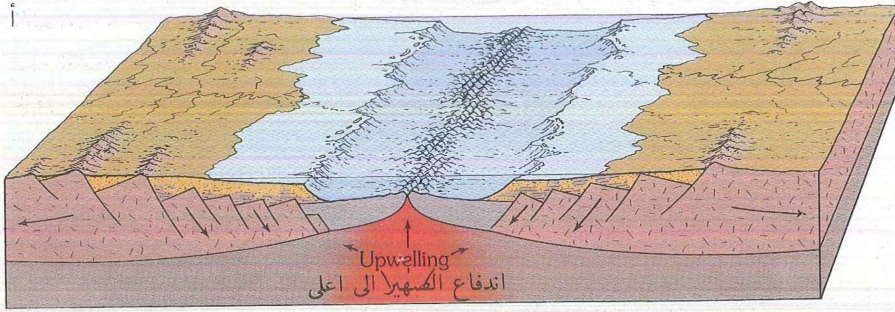
حواف القارات

تشمل **حافة القارة** كلا من الرف القارى والمنحدر القارى والمرتفع القارى (شكل 17 ـ 5). والجزء الأول، وهو **الرف القارى**، عبارة عن سطح طفيف الانحدار، مغمور يمتد من الشاطىء تجاه حوض المحيط. وحيث أن مكوناته تشبه القشرة القارية يتضح أنه امتداد للقارات مغمور بالماء. ويتباين عرض الأرفف القارية من رف ضيق جدا الى آخر عريض قد يصل الى 1500 كيلومتر. وعموما فإن معدل عرض الأرفف القارية يقدر بحوالى 80 كيلومتر، ومعدل أقصى عمق حوالى 130 مترا. أما معدل الميل فيقل عن عشر الدرجة أى بمعدل انخفاض يقدر بحوالى 2 متر للكيلومتر الواحد مما يظهره للعيان وكأنه سطح أفقى.

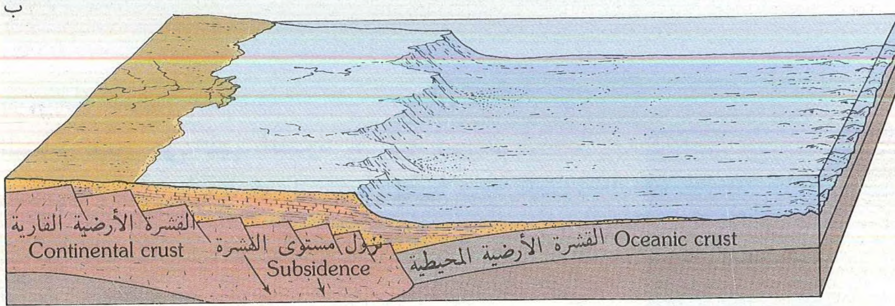
وبالرغم من أن الأرفف القارية تكون خالية نسبيا من السمات السطحية الا أن بعضها مغطى بالرسوبيات الجليدية مما يجعل سطحه مخددا. واكثر معالم الرف القارى وضوحا الوديان التى تجرى بها من الشواطىء تجاه المياه العميقة. وكثير من هذه الوديان عبارة عن امتداد لمجارى أنهار تجرى عبر اليابسة المجاورة. ويبدو أن هذه الوديان قد تم تعميق مجاريها خلال عصر البليستوسين (الزمن الجليدى)، الذى تم خلاله حجز كميات كبيرة من الماء على هيئة مجالد على



أ



ب



جـ

شكل 17 ـ 6
خطوات انقسام الكتل القارية. (أ) ـ صعود صخور الغلاف يتسبب فى تفتيت القشرة التى تعلوها. (ب) ـ وبابتعاد الكتلة الأرضية عن نطاق الصعود يتسبب تبريدها فى هبوط حافة القارة. (جـ) ـ تتراكم فوقها الرسوبيات القادمة من المناطق المرتفعة المجاورة.

القارات، مسببا فى انخفاض مستوى سطح البحر حوالى 100 متر أو أكثر، مما أدى الى تكشّف مساحات شاسعة من الأرفف القارية (شكل 11 ـ 3). وقد ترتب عن ذلك إمتداد مجارى الأنهار خلال هذه المناطق المكشوفة ثم غزتها الكائنات الحية من نباتات وحيوانات برية. وقد تم جمع بقايا العديد من الحيوانات البرية التى تشمل الماموت والماستودون والحصان وذلك من الرف القارى للساحل الشرقى لأمريكا الشمالية مما يثبت أن الأرفف القارية قد كانت فى يوم من الأيام أرضاً يابسة لا تغمرها المياه.

ويحد الرف القارى من ناحية البحر **المنحدر القارى** وهو يتميز بانحدار شديد اذا ما قورن بالرف القارى وهو يمثل الفاصل بين القشرة القارية والقشرة المحيطية. ويقدر معدل ميل المنحدر القارى الذى يختلف مماله من مكان لآخر بحوالى 5°، هذا وقد يصل فى بعض الأماكن الى أكثر من 25°.

وفى المناطق التى لا توجد بها خنادق بحرية عميقة يندمج المنحدر القارى مع آخر أقل انحدارا يعرف **بالمرتفع القارى**. ويقل هذا المهال الى ما بين 4 و 8 أمتار للكيلومتر

الواحد. وبينما يكون عرض الانحدار القارى 20 كيلومترا قد يصل المرتفع القارى الى مئات الكيلومترات. ويتكون المرتفع القارى من تراكمات رسوبية سميكة تحركت على المنحدر من الرف القارى الى أعماق قاع المحيط. وبالرغم من أن المرتفع القارى عديم المعالم إلا أنه غالبا ما توجد به أودية بحرية ضيقة أو براكين لم يتم ردمها كليا بواسطة الرسوبيات.

وبعض حواف القارات عريض وتكسوه تراكمات سميكة من رسوبيات المياه الضحلة. وكثيرا ما يصل سمك هذه الرسوبيات الى عدة كيلومترات تتخللها طبقات من الصخور الجيرية المتكونة أثناء العصور القديمة من الشِّعب المرجانية التى يقتصر نموها على المياه الضحلة. وقد أدى هذا الاستنتاج الى الاعتقاد بأن هذه الرسوبيات السميكة قد تراكمت على طول الحواف القارية الهابطة بالتدريج.

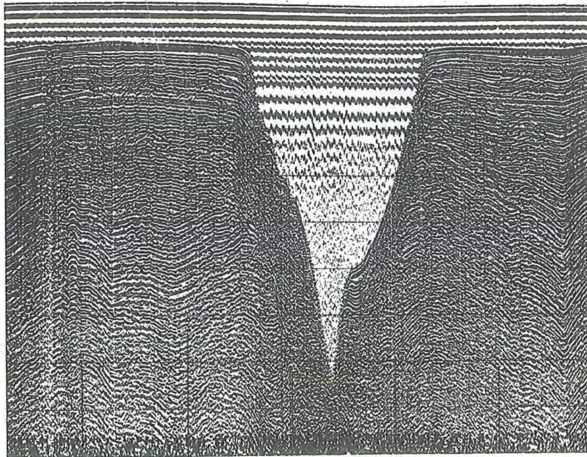
وينسجم هذا التفسير مع معرفتنا بكيفية تكوّن الحواف القارية أثناء إنفصام الكتل القارية. ويوضح الشكل 17 ـ 6 مراحل تطور هذه العملية. لاحظ كيف أن تصاعد مواد الوشاح تعمل على تقبب القشرة الأرضية ومن ثم شدها وتشققها. وبتقدم عملية انفراج قاع المحيط تبرد القشرة تدريجيا وهى تتباعد عن مركز تصاعد الصهير وبالتالى تنكمش وتهبط. وبعد ذلك تبدأ عملية تراكم الرسوبيات على هذه الحواف الحديثة التكوين مما يزيد فى عملية هبوطها.

وتوجد مثل هذه الحواف الهامدة حول المحيط الأطلسى على حواشى القارات المتباعدة. وتزايد حجم الرسوبيات على حواف القارات قد يتسبب فى الزيادة التدريجية للكتل القارية بالاضافة الى أن لهذه الرسوبيات دور مهم فى عملية بناء الجبال كما سنرى فى الفصل 18.

وعند بعض السواحل الجبلية تنزل المنحدرات القارية فجأة تجاه خنادق بحرية توجد بين القارات وقاع المحيط. وفى هذه الحالة يكون الرف القارى ضيقا أو قد يختفى تماما. ويمثل جانب الخندق امتداداً للمنحدر القارى الذى يتدرج الى جبال مجاورة قد يصل ارتفاعها الى آلاف الأمتار فوق مستوى سطح البحر. وتوجد هذه الحواف القارية الضيقة حول المحيط الهادى حيث تعمل حواف القارات الزاحفة الأمامية على امتطاء القشرة المحيطية. وتعمل قوة الضغط بين الألواح المتقاربة على تغيير مظاهر سطح الحواف القارية. ومثال ذلك الساحل الغربى لأمريكا الجنوبية حيث تبلغ المسافة العمودية بين قمم جبال الانديز الى قاع خندق بيرو وتشيلى عند حافة القارة ما يزيد على 12,000 متر.

الأخاديد البحرية وتيارات العَكَر

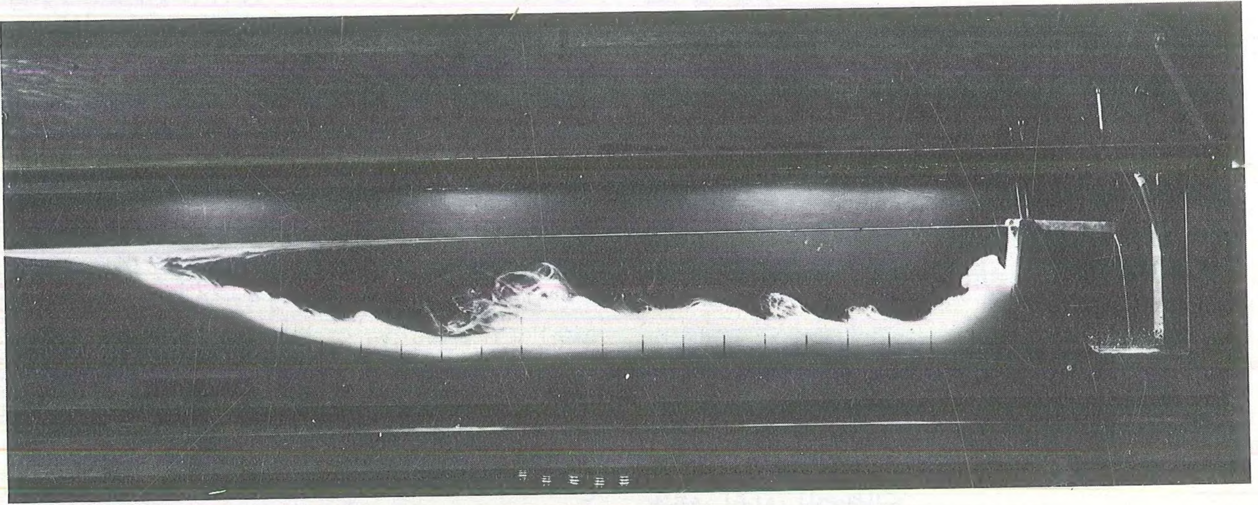
تتكون الأخاديد البحرية الضيقة على المنحدرات القارية وتصل فى بعض الأماكن الى أعماق 3 كيلومترات (شكل 17 ـ 7). وقد تتواجد هذه الوديان كامتداد بحرى لبعض الأنهار، غير أنها لا ترتبط بمجارى الأنهار فى كثير من الأحيان. وبالاضافة الى ذلك فإن هذه الأودية تمتد الى أعماق تفوق بكثير أدنى حد لمستوى مياه البحر أثناء الزمن



شكل 17 ـ 7
قطاع بخندق الكونغو البحرى تم رسمه بجهاز مقياس العمق الصوتى. عمق الخندق 3 كيلومترات من قاع المحيط على الجرف القارى ويبلغ عرضه اكثر من 10 كيلومترات.

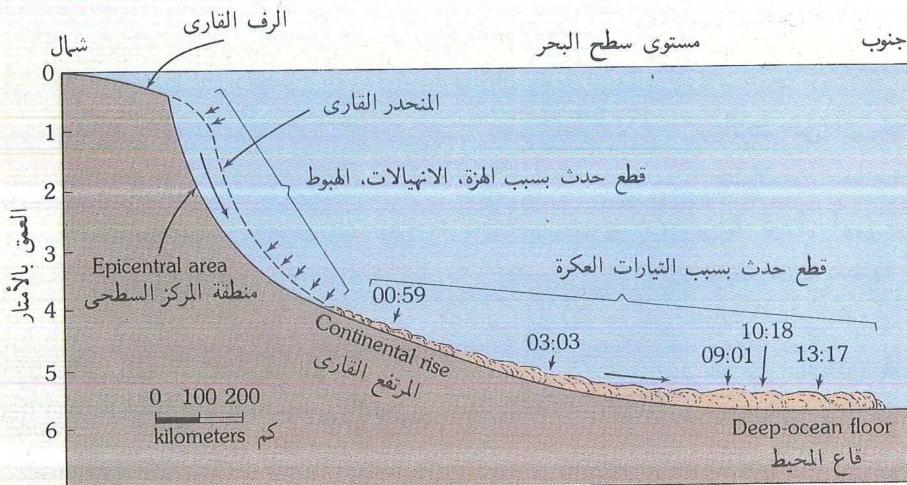
الجليدى. وعليه لا نستطيع ربط تكونها بتعرية المجارى المائية. وتشير معظم الشواهد المتوفرة على أن هذه الأودية قد تكونت بواسطة تيارات العكر والتى لها القدرة على العمل تحت أعماق كبيرة.

وتيارات **العكر** هى حركة المياه المحملة برسوبيات كثيفة على المنحدرات. وتتكون بحركة الرمال والطين على الرف والمنحدر القاريين لتتحول الى حمل رسوبى معلق بفعل الزلازل أو غيرها. وحيث أن المياه العكرة اكبر كثافة من المياه الصافية فإنها تندفع على المنحدر القارى جارفة ومجمعة للرسوبيات مع استمرار زيادة سرعتها (شكل 17 ـ 8). ولهذا يعتقد بأن تيارات العكر هى القوة الرئيسية العاملة على حفر مجارى معظم هذه الأودية المغمورة.



شكل 17 ـ 8

تيار عكر فى خزان داخل المعمل.



شكل 17 ـ 9

مخطط جانبى لقاع البحر يبين احداث 18 نوفمبر سنة 1929 عند حدوث زلزال بالقرب من شواطىء نيوفاوندلاند. تشير الأسهم الى مواقع قطع خط **الهاتف** وتبين الأرقام وقت إنقطاعها بالساعات والدقائق **بعد الزلزال**. المقياس العمودى مبالغ فيه كثيرا.

وقد تستمر بعض تيارات العكر خلال المرتفعات القارية فى حفر الأودية حتى تنفذ قوتها على التعرية وتنتهى بقاع المحيطات. وبفقدان هذه التيارات لقوتها على نقل الحمولة تعمل على ترسيبها مبتدئة بالرمل الأكبر حجما فالأصغر فالغرين ثم الطين. وبالتالى فإن **رسوبيات العكر** تمتاز بتناقص حجم حبيباتها من القاع تجاه القمة وتعرف هذه الظاهرة **بالطبقية المتدرجة**.

وقد عرفت تيارات العكر منذ سنوات طويلة غير أن إثبات وجودها بالمحيطات لم يتم إلا فى الخمسينات من هذا القرن. وقد تم إثبات وجود هذه التيارات فى البحار وبالتالى اعتبارها المحرك للتعرية بقاع المحيطات وذلك بالحصول على دليلين. أولهما من تسجيل لزلزال كبير بالقرب من ساحل نيوفوندلاند سنة 1929م. والذى تسبب فى قطع 13 خطا هاتفيا ومبرقا عبر المحيط الأطلسى. وفى بادىء الأمر اعتقد أن الهزة الزلزالية قد تسببت فى قطع هذه الخطوط غير أن المعلومات المتوفرة لم تشر الى ذلك. فبعد تحديد مواقع قطع الخطوط على الخريطة وجد أنها تقع على المنحدر والمرتفع القاريين. وقدتمت اعادة رسم الصورة لما حدث بالاستعانة بتوقيت القطع فى كل مرّة والمسجل بمسجلات آلية (شكل 17 ـ 9). فقد حدث أول انقطاع عند اعلى، المنحدر وكان متزامنا تقريبا مع وقت حدوث الزلزال. أما البقية فقد حدثت على التوالى، وكان آخرها بعد ساعة واحدة من الأول وعلى مسافة تبلغ حوالى 720 كيلومترا من مركز الزلزال. وواضح أن آخر انقطاع، والذى حصل بأسفل المنحدر، كان متأخرا جدا ليكون نتاجاً مباشراً للزلزال. وعليه فإن تيارات العكر والتى انطلقت تحت تأثير الزلزال، هى بديل مقبول لذلك. وقد عمل تيهْور المياه المحمل بالرسوبيات المندفع على المنحدر القارى على قصم الخطوط فى طريقها. وقد قام الباحثون بحساب سرعتها فوجد أنها وصلت الى 80 كيلومترا فى الساعة عند الجزء الشديد الانحدار، وحوالى 24 كيلومترا فى الساعة عند الجزء الأقل إنحدارا.

هذا وقد تم التوصل الى دليل آخر على فعالية تيارات العكر كأداة تعرية وترسيب بأعماق البحار وذلك بفحص عينات لرسوبيات من المياه العميقة. وتبين عينات لبب الآبار هذه فرزاً طبقياً من الرمال الى الغرين الى الطين تحت بيئة مائية عميقة. وقد وجد أن بعض هذه العينات تحوى بقايا حيوانية ونباتية تعيش عادة فى المياه الضحلة للرف القارى. ولا يوجد تفسير لوجودها تحت هذه الظروف غير انتقالها بتيارات العكر.

ملامح الأحواض العميقة للمحيطات

يقع **حوض المحيط** بين حافة القارة ومرتفع وسط المحيط (شكل 11 ـ 4). والمساحة الاجمالية لهذا الجزء من المحيطات والتى تقدر بحوالى 30 % من مساحة سطح الأرض تساوى تقريبا مساحة الأرض غير المغمورة بمياه البحار. ويتكون هذا الجزء من المحيطات من مساحات منبسطة تعرف بسهول اللّج ومن قمم بركانية وخنادق أعماق المحيطات وهى أخاديد شديدة الاعماق بقاع المحيط.

خنادق أعماق المحيطات

تتميز بكونها طويلة وضيقة نسبيا وتمثل أعمق أجزاء المحيطات ويوجد العديد منها بالمحيط الهادى حيث يصل عمق بعضها أو يزيد عن 10,000 متر بل إن أحدها وهو عمق المتحدى بخندق الماريانا يبلغ 11,000 متر تحت مستوى سطح البحر. ويبين الجدول 17 ـ 1 بعض أبعاد الخنادق البحرية الكبيرة.

وبالرغم من أن خنادق أعماق المحيطات لا تمثل الا جزءا ضئيلا من مساحة المحيطات الا أنها ذات أهمية جيولوجية كبيرة. فهى مواقع تقدم الواح القشرة الأرضية عند نزولها تحت بعضها البعض داخل الغلاف. بالاضافة الى الزلازل التى تحدثها حركة الالواح عند نزولها بهذه الطريقة فإن الخنادق لها علاقة مباشرة بالنشاط البركانى. ففى المحيطات المفتوحة توجد سلسلة لجزر بركانية موازية لخط الخنادق. أما الجبال البركانية مثال الانديز فهى كذلك

موازية لها بمحاذاة القارات. والمادة الناتجة عن انصهار الالواح القارية الغائرة عند نزولها هى الدافع المحرك لمثل هذا النشاط البركانى.

سهول اللّج

وسهول اللّج هى معالم منبسطة بأعماق المحيطات وهى تعتبر اكبر معالم الأرض انبساطا. فالسهل الواقع قبالة الساحل الأرجنتينى، مثلا، لا تتعدى تضاريسه الثلاثة أمتار لمسافة تزيد عن 1300 كيلومتر. غير أن دراسة سهول اللج قد أسفرت على احتوائها فى كثير من الأحيان على بعض التراكيب البركانية البارزة.

وباستعمال أجهزة القطاعات الاهتزازية، والتى بواسطتها يمكن الوصول الى معرفة ما تحت قاع المحيطات تبين أن سهول اللج تتكون من رسوبيات تراكمت فوق منخفضات الأجزاء الوعرة بقاع المحيط. وتدل طبيعة هذه الرسوبيات على أنها نقلت الى مواقعها بواسطة تيارات العكر.

وتتواجد سهول اللج كجزء من معالم القاع بجميع المحيطات، غير أنها تمتد خاصة فى المناطق التى تخلو من خنادق المحيطات المجاورة للقارات. وحيث أن المحيط الأطلسى يحوى أقل عدد من هذه الخنادق والتى تعمل كمصائد للرسوبيات التى تأخذ طريقها الى أسفل المنحدر القارى فإنها تحوى مساحات اكبر من سهول اللج من تلك التى توجد بالمحيط الهادى.

القمم البركانية

تنتشر بقاع المحيطات بقع معزولة لمرتفعات بركانية تسمى القمم البركانية والتى قد تصل فى ارتفاعها الى مئات الأمتار فوق مستوى ما حولها من مظاهر قاع المحيط. وقد اكتشفت هذه المرتفعات المخروطية والشديدة الانحدار فى جميع المحيطات ووجد أن المحيط الهادى يحوى اكبر عدد منها.

والعديد من هذه البراكين البحرية تبدأ عند مرتفعات وسط المحيط حيث تبرز الأجزاء الجديدة من الواح القشرة

جدول (17 أ) مقاسات بعض الخنادق البحرية

الخندق البحرى	العمق (كم)	معدل العرض (كم)	الطول (كم)
الوتيان	7.7	50	3700
اليابان	8.4	100	800
جاوا	7.5	80	4500
كورل كامشاتكا	10.5	120	2200
ماریاناس	11.0	70	2550
أمريكا الوسطى	6.7	40	2800
بيرو وشيلى	8.1	100	5900
الفليبين	10.5	60	1400
بورتوريكو	8.4	120	1550
جنوب ساندويش	8.4	90	1450
تونجا	10.8	55	1400

الأرضية وتتباعد. وتستمر هذه البراكين فى النمو وهى تتحرك مع حركة هذه الألواح. واذا ما ارتفع البركان بسرعة فقد يبرز فوق سطح الماء كجزيرة مثال جزر أزورس، وإسنش، وتريستان داكونها، وسانت هيلينا، بالمحيط الأطلسى. وعند بروز هذه البراكين كجزر فوق السطح فإن المياه الجارية بالاضافة الى الأمواج تعمل على تعريتها الى مستوى يقارب سطح مياه المحيط وخلال الملايين من السنين تغطس الجزر تدريجيا محمولة فوق الالواح المبتعدة ببطء من منطقة مرتفعات وسط المحيط النشطة. وبعد إنغمار الجبال البحرية بالماء تأخذ قممها شكل مسطح وعندها تعرف **بالجيوتات**. وفى حالات أخرى قد تكون الجيوتات بقايا لجزر بركانية اكملتها التعرية. وقد تتكون بعض هذه الجبال بعيدا عن قمم مرتفعات المحيط ويكون انخفاضها بعد همود البركان وبرودة قاع المحيط وإنكماشه.

الشِّعب والجزر البركانية

تعتبر الشِّعب المرجانية من أروع الظواهر بالمحيطات. فهى تتكون من هيكل كلسى لبقايا افرازات المرجان وبعض أنواع الطحالب. ويبدو هنا أن مصطلح الشِّعب المرجانية غير صحيح، حيث أنه لا يشمل بقايا هياكل الكثير من الحيوانات والنباتات التى تتواجد داخل البنية المرجانية. ولا يشمل كذلك الافرازات الكلسية للطحالب التى تساعد فى تماسك تركيبة الشِّعب بوجه عام.

ويقتصر وجود الشِّعب ا المرجانية بوجه عام على المياه الدافئة الصافية بالمحيطين الهندى والهادى فيا عدى بعض الحالات التى توجد خارج هذا النطاق. ويعتمد توزيع المرجان البانى للشِّعب على حاجتها للمياه الدافئة، والتى تقدر بمعدل سنوى يبلغ أربعة وعشرين درجة مئوية. ولا يستطيع المرجان مقاومة التغيرات المفاجئة فى درجة الحرارة ولا التعرض مدة طويلة لدرجة حرارة أقل من 18°م. وبالاضافة الى ذلك تحتاج هذه الحيوانات البانية للشِّعب المرجانية الى مياه مشمسة ونقية مما يجعل نموها محدودا على أعماق تبلغ حوالى 45 مترا.

وفى سنة 1831 كان العالم تشارلز دارون على ظهر السفينة البريطانية بيجل، والتى كانت فى مهمة مسح حول الكرة الأرضية. وقد قدم دارون من ضمن ما قدمه بعد رحلة الخمس سنوات هذه نظرية تكوين الجزر المرجانية. وكما يوضح الشكل 17 ـ 10 فإن هذه الجزر تتكون من دائرة متصلة أو منفصلة من الشعب المرجانية تحيط ببهور. وقد فسرَّت نظرية دارون ما كان يبدو تناقضا فى مقدرة الشعب المرجانية على البناء والتركيب على قاع المحيط والذى قد يصل الى آلاف الأمتار، وهى التى تحتاج الى المياه الضحلة والدافئة لنموها. وذلك بقوله:

> **بالاشارة الى الحقيقة حول عدم إمكانية المرجان الباقى للشعب من الحياة فى أعماق كبيرة فإنه من المؤكد أن المساحات التى تشغلها الآن الجزر المرجانية كان بها أسس على أعماق تتراوح بين 20 و 30 قامة من سطح البحر.**

وجوهر نظرية دارون أن الشعب المرجانية تتكون على حواف الجزر البركانية التى تهبط شيئا فشيئا. ويوضح الشكل 17 ـ 11 كيف أن الجزيرة الهابطة تدريجيا تحت سطح البحر تستمر فوقها عملية البناء المرجانى الى اعلى. وعليه يعتقد أن الشعب المرجانية تشبه الجيوت فى علاقة تكوينها بهبوط القشرة الأرضية. وقد تم نقد نظرية دارون هذه فيا بعد ولم يهدأ النقاش حول هذا الموضوع الى أن قامت بعد الحرب العالمية الثانية الولايات المتحدة بدراسة جزيرة إينى ويتول وبيكينى المرجانيتين من أجل إجراء التجارب لتفجير القنابل الذرية. وقد تبين من الحفر بهاتين الجزيرتين وجود صخور بركانية تحت التركيبة المرجانية السميكة وكان ذلك تأكيدا قاطعا لنظرية دارون.



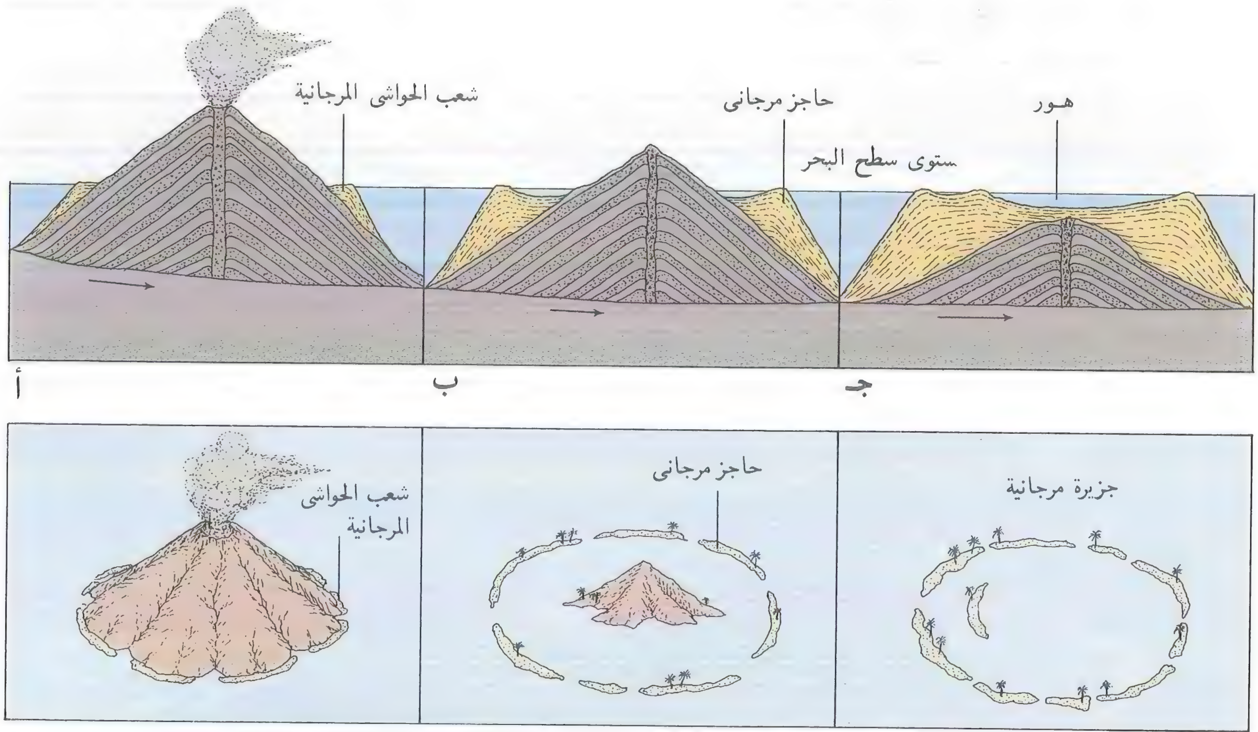
شكل 17 ـ 10

منظر من الفضاء الخارجى لبعض الجزر المرجانية بالمحيط الهادى.

رسوبيات قاع المحيط

تغطى قاع المحيطات طبقة رسوبية فيما عدى مناطق صخرية محدودة. وقد تراكمت هذه الرسوبيات تحت تأثير تيارات العكر فيما ترسب الباقى ببطء من المياه التى تعلو أماكن تواجدها. ويختلف سمك هذه الرسوبيات من مكان الى آخر حيث تصل فى بعض الخنادق البحرية التى تعمل كمصائد للرسوبيات الى ما يزيد على 9 كيلومترات. وعموما فإن معدل سمك التراكمات الرسوبية أقل من ذلك بكثير. ففى المحيط الهادى تبلغ 600 متر أو أقل فى حين انها تتراوح من 500 الى 1000 متر بقاع المحيط الأطلسى.

وبالزغم من أن رسوبيات بحجم الرمل قد وجدت على قاع المحيط إلا أن الوحل هو الغطاء الرسوبى الشائع به. ويوجد الوحل كذلك بالرف والمنحدر القاريين، إلا أن الرسوبيات فى هذه المواقع اكبر حجما، وذلك لزيادة نسبة الرمال هنا. وقد بينت الدراسات أن الرمال تتراكم على الرف القارى بالقرب من الشواطىء إلا أن رقع غير منتظمة منه



شكل 17 ـ 11

تكون الجزر المرجانية.

قد وجدت على طرف الرف القارى من ناحية المياه العميقة. ويبدو أن التيارات المحلية قادرة على ترسيب هذه الرقع الرملية إلا أن جلها ترسيبات شاطئية عتيقة. وقد تكونت مثل هذه الشواطىء أثناء العصر الجليدى عندما كان مستوى سطح البحر أقل بكثير من الوقت الحالى.

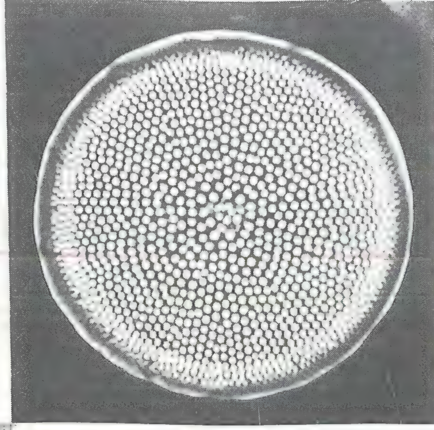
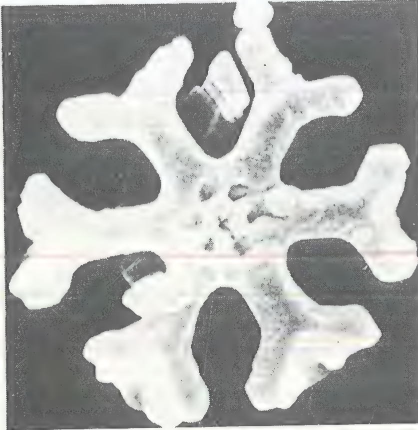
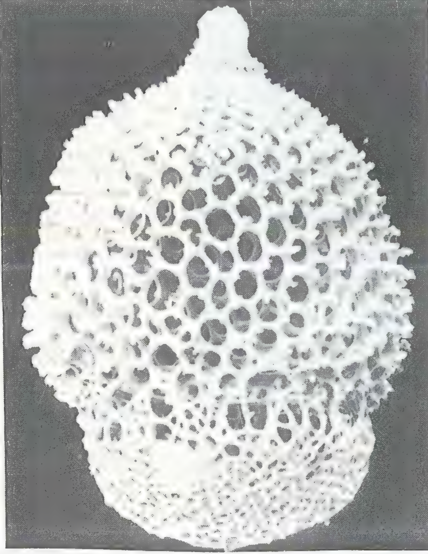
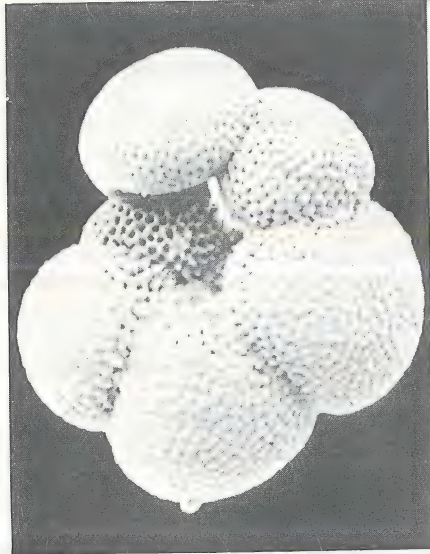
ويمكن تصنيف رسوبيات قاع المحيط الى ثلاثة أنواع رئيسة وذلك بناء على منشأها: (1) رسوبيات اليابسة (أصلها من اليابسة)، (2) رسوبيات حياتية (أصلها من كائن حى)، (3) رسوبيات مائية (أصلها من الماء). وبالرغم من أننا سنتناول كلا منها على حدة يجب ملاحظة أن رسوبيات قاع المحيط هى خليط ولا يوجد جزء رسوبى بها يرجع أصل تكونه الى أى من هذه التقسيمات على انفراد.

رسوبيات اليابسة: رسوبيات اليابسة هى حبيبات معدنية نتاج عملية التجوية على اليابسة وقد تم نقلها الى المحيط وأثناء ترسبها تتراكم الجزيئات التى بحجم حبيبات الرمال قرب الساحل بينما قد يلزم الأجزاء الدقيقة سنوات عدة تقطع خلالها آلاف الكيلومترات محمولة بواسطة التيارات المحيطية وذلك حتى تترسب وتأخذ مكانها على قاع المحيط وبالتالى فإن جميع أرجاء المحيطات تستقبل بعض الرسوبيات اليابسة غير أن معدل تراكم هذه الرسوبيات يكون ضئيلا جدا فى المناطق العميقة. فقد يلزم 5000 الى 50,000 سنة لترسيب طبقة سمكها سنتيمتر واحد. وعلى العكس من ذلك فإن رسوبيات اليابسة تتراكم بسرعة بكميات كبيرة بالقرب من مصاب الأنهار. ففى خليج المكسيك مثلا وصل سمك هذه الرسوبيات الى عدة كيلومترات.

وحيث أن الرسوبيات الدقيقة بالمياه العميقة تبقى معلقة فى الماء لمدة طويلة فإن ذلك يسمح بحدوث بعض التفاعلات الكيميائية مما يترتب عليه صبغ هذه الرسوبيات بلون يميل الى الاحمرار أو البنى الناتج عن تفاعل الحديد بهذه الرسوبيات مع الأكسجين الذائب فى الماء والذى يعطيها غلافا من أكسيد الحديد (الصدأ).

الرسوبيات الحياتية: تتكون الرسوبيات الحياتية من أصل بقايا أحياء بحرية أو نباتية (شكل 17 ـ 12 أ). وغالبا ما تتكون هذه الرسوبيات بتراكم بقايا أحياء مجهرية تعيش بالمياه المشمسة القريبة من سطح المحيط وتتراكم بقاياها على سطح المحيط فيما يشبه قطرات الماء المتساقطة فى يوم ممطر.

والردغة الكلسية أشهر الرسوبيات الحياتية انتشارا وهذه الرسوبيات المكونة من كربونات كالسيوم (كا ك أ$_3$) وهى من نتاج أحياء تعيش بالقرب من سطح المياه الدافئة. وتبدأ الجزيئات الكلسية بالذوبان عند نزولها ببطء الى القاع خلال الماء البارد وذلك لأن الماء البارد يحتوى على كمية اكبر من ثانى اكسيد الكربون، أى أنه أكثر حامضية من الماء

شكل 17 ـ 12

صورة مكبرة لمواد كلسية وسليكية من حيوانات ونباتات مجهرية والتى تمثل مكونات الرسوبيات الحياتية.

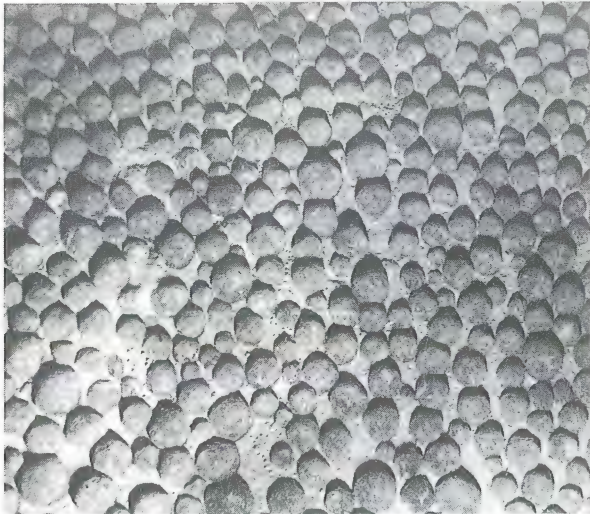
الدافىء. وعند الاعماق التى تزيد على 4500 متر تذوب الأصداف الكلسية قبل وصولها الى القاع وبالتالى لا تتراكم الردغة الكلسية بالأحواض الرسوبية العميقة.

والردغة السليكية والمواد الغنية بالفوسفات أمثلة أخرى على الرسوبيات الحياتية. فرسوبيات الردغة السليكية تتكون من هياكل أوبالانية للدياتومات (طحالب وحيدة الخلية) والشعاعيات (حيوانات وحيدة الخلية). أما المواد الغنية بالفوسفات فتنتج من بقايا العظام والأسنان وحراشف السمك وبقايا الأحياء البحرية الأخرى.

الرسوبيات المائية: والرسوبيات المائية تتكون من معادن يتم تبلرها من ماء البخر مباشرة بواسطة عدة طرق كيميائية. ومثال ذلك بعض صخور الحجر الجيرى. فبالرغم من أن معظم هذه الصخور من أصل حياتى إلا أن بعضها يتكون بالترسّب المباشر لمعدن الكلسيت.

ومن أشهر الأمثلة للرسوبيات المائية ومن أهمها اقتصاديا عجيرات المنجنيز. وهى عجيرات سوداء تتكون ببطء على قاع المحيط من خليط معقد لعدة معادن (شكل 17 ـ 13). وفى الحقيقة فإن معدل تكونها يعتبر من أبطأ التفاعلات الكيميائية المعروفة. وبتحليل المواد المشعة المتواجدة ضمن تركيبة هذه العجيرات فقد وجد الباحثون أن معدل نموها يتراوح بين 0.001 و 2.0 ملليمتر خلال 1000 سنة. ويتواجد المنجنيز مبعثرا بكميات كبيرة على أجزاء من قاع المحيطات بينا قد لا يوجد له أثر فى أجزاء أخرى. هذا وقد وجدت علاقة بين تواجده ومعدل الترسيب. فقد وجد أن العجيرات يتم ردمها ويتوقف نموها اذا ما كان معدل الترسيب مرتفعا (يزيد على 7 ملليمترات فى 1000 سنة). وحيث أن معدل نمو العجيرات بطىء جدا فلماذا لا يتم دفنها عند معدلات الترسيب التى تقل عن 7 ملليمترات فى 1000سنة؟ يقترح بعض العلماء بأن الحيوانات التى تعيش على القاع لها دور فى حفظ العجيرات من الدفن وذلك عن طريق إثارة الكائنات الحافرة للرسوبيات من حولها مما يدفعها الى أعلى قليلا ويساعد بالاضافة الى استهلاك بعض هذه الحيوانات للرسوبيات الجديدة على منع ردم العجيرات.

وبالرغم من أن هذه العجيرات تحوى أكثر من 20% من المنجنيز فإن الكثير من أهميتها الاقتصادية تكمن فى احتوائها على معادن ثمينة أخرى. فبالاضافة الى المنجنيز قد تحوى العجيرة كميات من الحديد والنحاس والنيكل والكوبلت. هذا ولا تعتبر جميع مناطق تواجد عجيرات المنجنيز ذات أهمية اقتصادية. ولجعل موقع ما محتمل الاستفادة منه يجب أن تتوفر به العجيرات بكميات معقولة (أكثر من 5 كيلوجرامات فى المتر المربع) بالاضافة الى احتوائها على أفضل تركيبة من محتويات الكوبلت والنحاس والنيكل. وعموما فإن المواقع التى تتوفر فيها هذه المواصفات قليلة نسبيا. وقبل أن تثبت أهمية أى موقع كمصدر للعجيرات يتوجب إيجاد حل لمشكلة إستخراجها من الأحواض المحيطية الترسيبية العميقة.



شكل 17 ـ 13

عجيرات المنجنيز تم تصويرها تحت عمق 2909 قامة (5323 مترا) بالقرب من تاهيتى.

مرتفعات وسط المحيط

لقد جاءت معلوماتنا حول مرتفعات وسط المحيط، وهى مواقع انفراج قيعان المحيطات، من أجهزة قياس الموجات الصوتية المرتدة من قيعان المحيطات ومن عينات لب الآبار المستمدة من الحفر العميق فى البحار، ومن المشاهدة المباشرة باستعمال غواصات صغيرة لاعماق كبيرة وكذلك الفحص المباشر لقطاعات من قاع المحيطات التى تم قذفها من أعماق المحيطات. وتتميز مرتفعات وسط المحيط بوقع مرتفع وتصدع هائل وتراكيب بركانية عديدة والتى تكونت فوق القشرة الحديثة (شكل 17 ـ 1).

توجد مرتفعات وسط المحيط بكل المحيطات الرئيسة وتمثل مساحتها حوالى 20 بالمائة من مساحة الكرة الأرضية. وهى أبرز المعالم الطبوغرافية بالمحيطات حيث تكوّن ما يشبه سلسلة جبلية بطول يقارب 65000 كيلومترا. وبالرغم من أن مرتفعات وسط المحيط تقف شاهقة فوق الأحواض المحيطية الا أنها تختلف عن جبال اليابسة. فبدلا من تكونها من تتابع طبقى لرسوبيات سميكة مطوية ومتصدعة فإن مرتفعات وسط المحيط عبارة عن طبقات فوق طبقات من صخور البازلت المتصدعة والمدفوعة فى كتل الى أعلى. وقد يساء فهم كلمة المرتفعات فى تسميتها حيث أن عرضها يتراوح بين 500 و 5000 كيلومترٍ وقد تحتل فى بعض المناطق نصف مساحةالمحيط.

وبالرغم من ضخامة حجم مرتفعات وسط المحيط إلا أن الاضافات الجديدة لها تخرج من نطاق ضيق عند القمة. وتسمى هذه المنطقة **نطاق الغور** وهى تتميز بزلازل خفيفة ومعدل إشعاع حرارى يفوق بقية أجزاء القشرة الأرضية. وتعمل هنا الازاحة العمودية لكتل القشرة المحيطية تحت تأثير التصدع ونمو التراكمات البركانية الى تجعد طبوغرافية مرتفعات وسط المحيط كما يتميز محور هذه المرتفعات بصخوره الحديثة التكون نسبيا وخلوه تقريبا من أى تراكمات رسوبية. وبزيادة المسافة بعداً عن وسط مرتفعات وسط المحيط تتغير طبوغرافية السطح تدريجيا من منطقة المرتفعات المتجعدة الى سهول اللج المنبسطة كما يزداد سمك الرسوبيات وعمق مياه المحيط.

وأثناء انفراج قاع المحيط تضاف مواد جديدة بالتساوى تقريبا لكلا اللوحين المتباعدين، وعليه وكما نتوقع فإن قاع المحيط ينمو متماثلا حول مرتفع بنصف المحيط ويقع مرتفع المحيط الأطلسى وكذلك المحيط الهندى بالقرب من المنتصف وعليه سميت هذه المرتفعات بمرتفعات وسط المحيط. غير أن مرتفع شرق المحيط الهادى يقع بعيدا عن منطقة الوسط. فبالرغم من تساوى انفراج قاع المحيط على جانبى المرتفع الا أن اجتياح لوح أمريكا الجنوبية للقشرة المحيطية تسبب فى جنوح موقع مرتفع شرق المحيط الهادى نسبيا الى الشرق.

ولقرب مرتفع وسط المحيط الأطلسى من القارتين الأوروبية والأمريكية فقد نال إهتماما أكثر من قبل الدارسين. وترتفع هذه المرتفعات الضخمة من السلسلة الجبلية حوالى 2500 الى 3000 متر فوق سطح قاع المحيط وفى بعض الأماكن مثل ايسلانده تبرز مرتفعات وسط المحيط فوق مستوى سطح البحر غير أن معظم أجزاءه تقع على عمق 2500 متر تحت سطح البحر. ويتميز مرتفع وسط المحيط الأطلسى بوجود وادٍ عميق عند محوره. ويعرف هذا الوادى باخدود الغور وذلك لتشابهه الكبير بوديان التصدع القارية مثال وادى التصدع الكبير شرقى أفريقيا. وبتفحص الشكل 17 ـ 1 يتضح أن وادى التصدع تقطعه فوالق تحويل متعددة.

طبيعة قاع المحيط وانفراجه

وضع هارى هيس من جامعة برنستون أسس نظرية انفراج قاع المحيط فى أوائل الستينات من هذا القرن. وباستعمال غواصة الأعماق تمكن الجيولوجيون فيما بعد من إثبات نظرية هيس التى أشار فيها الى أن قاع المحيط يتعرج عند نطاق ضيق بقمة مرتفعات وسط المحيط (شكل



أ



ب

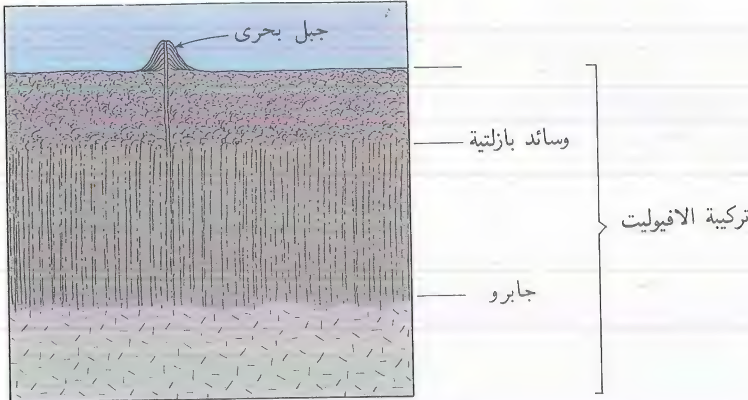
شكل 17 ـ 14

(أ) ـ طول غواصة الأبحاث 7.6 مترا ووزنها 16 طنا وسرعتها تبلغ عقدة واحدة تصل الى اعماق 4000 متر. يمكن لقائدها مع إثنين من الباحثين ان يبقوا بداخلها 6 ـ 10 ساعات متواصلة. (ب) ـ صورة أخذت أثناء مشروع الدراسة المشترك لدراسة وسط المحيط وهى تبين طفح اللابة بنطاق التصدع بمرتفع وسط المحيط الأطلسى ومثل هذا الطفح الذى على شكل معجون الأسنان شائع الوجود فى هذه الأماكن. ويرى فى الصورة ذراع آلى أثناء تجميعه للعينات بجانب أحد هذه الأشكال الصخرية.

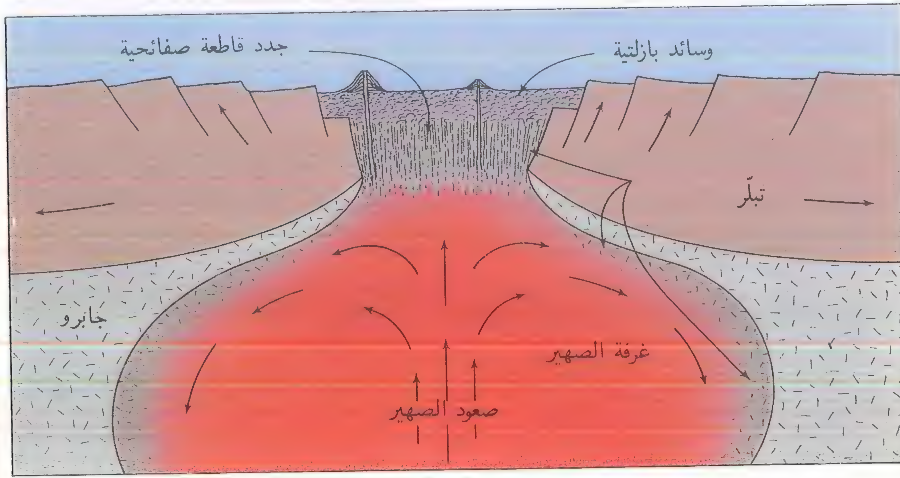
17 ـ 14). وقد وجد أن عرض هذا النطاق يقتصر على حوالى كيلومتر واحد يرتفع شرقى المحيط الهادى بينما يمتد عشرات الكيلومترات بمرتفع وسط المحيط الأطلسى. وعند تباعد الالواح المحيطية يبرز الصهير من خلال نطاق التشقق حديث التكوين لملء المسافة بينهما مكونة جزءا جديدا من قشرة المحيط وتعمل هذه الظاهرة المستمرة على تكوين أجزاء جديدة من القشرة الأرضية عند قمم مرتفعات قاع المحيط ومن ثم نقلها بعيدا على هيئة أحزمة ناقلة.

وبدراسة أجزاء من مرتفعات قاع المحيطات بالتفصيل وجد أنها تختلف فى سرعة إنفراجها. فمثلا تبلغ سرعة إنفراج قاع المحيط حول مرتفع المحيط الهادى حوالى 6 سنتيمترات فى السنة، وتصل الى حد أقصى قدره 10 سنتيمترات فى السنة بالقرب من جزيرة إستر، بينما لا يتعدى إنفراج قاع المحيط الأطلسى سنتيمتران فى السنة. ويظهر أن معدل الانفراج يؤثر فى شكل المرتفع. وتعزى طبوغرافية مرتفع وسط المحيط الأطلسى الشديدة التجعد وضخامة حجم وادى الغور المركزى الى بطء حركة تمدده. وبالعكس من ذلك فقد أدت سرعة حركة إنفراج قاع المحيط عند مرتفع شرقى المحيط الهادى الى قلة تجاعيده والى غياب وجود وادى صدعى مميز لمعظم أجزاءه. وبالرغم من هذا الاختلاف فانه يسود الاعتقاد بأن جميع نظم مرتفعات وسط المحيط تكون قيعاناً بحريةً جديدة وبنفس المنوال.

وبالرغم من أن معظم أجزاء القشرة المحيطية تتكون بعيدا عن الأعين فإن الجيولوجيين قد تمكنوا من الحصول على عينات منها بمواقع تشمل نيوفاوندلاند وقبرص وكاليفورنيا. ومن دراسة هذه العينات اتضح أن قاع المحيط



أ



ب

شكل 17 ـ 15

(أ) ـ تشبه القشرة المحيطية تركيبة الافيوليت والتى تم اكتشافها فوق مستوى سطح البحر فى اماكن مثال قبرص.

(ب) ـ تكوين وحدات الافيوليت الثلاثة.

يتكون من ثلاث طبقات (شكل 17 ـ 15 أ). الطبقة العليا تتكون من وسائد بازلتية. وتتكون الطبقة الوسطى من مجموعة من الجذذ القاطعة المتصلة والتى تعرف بالجذذ الصفائحية. أما الطبقة الثالثة فتتكون من الجابرو وهو يعادل البازلت بمكونات حبيبية خشنة نتيجة لتبلّرها عند أعماق كبيرة. ويسمى هذا التسلسل الصخرى بمركب الأوفيوليت. وبتجميع المعلومات من تراكيب الأوفيوليت المختلفة بالاضافة الى البيانات الأخرى ذات العلاقة تمكن الجيولوجيون من وضع تصور حول تكوين قاع المحيط.

وينشأ الصهير الصاعد لتكوين قاع المحيط من البيريدوتيت المنصهر جزئيا بالغلاف الوهن. وقد لا يزيد عمق مصدر هذا الصهير عن 35 كيلومترا تحت قاع المحيط بنطاق التصدع (شكل 17 ـ 15 ب). ولأن الصهير هنا سائل ذو كثافة أقل من الصخور الصلبة حوله فإنه يتحرك الى أعلى ببطء حيث يتجمع فى خزانات ضخمة على عمق بضعة كيلومترات تحت قمة مرتفعات وسط المحيط. وانجذاب الألواح المحيطية أو دفعها بعيدا عن بعضها البعض يخرج الصهير خلال تشققات القشرة الأرضية المحيطية. ومع حصول كل فورة بركانية يعتقد أن الصهير المبدئى الذى هو على صورة سائل ينتشر فوق نطاق الصدع فى شكل رقائق على مساحات شاسعة. وتعمل التشققات على قطع هذه الألواح لتسمح بخروج دفعات جديدة من الصهير الذى بدوره يكون طبقات أخرى تعلو الطبقات الأولى. وبعد ذلك



شكل 17 ـ 16

اللابا الوسائدية بخليج ترنتى بنيوفوندلاند.

وفى مرحلة متأخرة من هذه الدورة يبرد الصهير بالخزان القريب من قاع المحيط ويغلظ قوامه لتخرج دفعات أقصر من الأولى مكونة تشكيلات تشبه الوسائد. لاحظ أن وسائد الصهير تشبه فى شكلها أكياس الرمل الطويلة المكدسة فوق بعضها البعض (شكل 17 ـ 16). واذا ما كان معدل خروج الصهير كافيا فقد تعمل وسائد اللابا على بناء روابى بحجم البراكين. وفى مرحلة متقدمة تنقطع هذه الروابى عن مصادرها مبتعدة عن قمة المرتفعات بواسطة انفراج قاع المحيط أما الصهير الذى لا يأخذ طريقه الى اعلى فيبرد ويتبلّر عند أعماق كبيرة ليكون صخور الجابرو. وتتكون وحدة الصخور السفلى بتبلر الصهير على جدران غرفة الصهير وبهذا يتكون عند نظم مرتفعات وسط المحيط تتابع الصخور الكامل الذى يوجد في مركب الافيوليت.

وبدراسة مركبات الأفيوليت ومرتفعات وسط المحيط تم التعرف بالتدريج على التاريخ المعقد لتكوين قاع المحيط وقد ساعدت هذه الدراسات على إماطة اللثام على تواجد وتوزيع بعض رسوبيات المعادن ذات الأهمية الاقتصادية. ويتم إستخراج عدة معادن من مركبات الأفيوليت تشمل كبريتيدات عناصر النحاس والزنك والحديد. ومثال ذلك أفيوليت قبرص الذى يمثل مصدرا هاماً للنحاس منذ أكثر من 4000 سنة. ويظهر أن هذه الرسوبيات تمثل خامات تكونت على قاع البحر عند موقع قديم لانفراج قاع المحيط. وقد تم منذ أواسط السبعينات من هذا القرن التعرف على عيون ساخنة نشطة ورسوبيات غنية بالكبريتيدات فى مواقع عدة تشمل مرتفع شرقى المحيط الهادى ومرتفع خوان دو فوكا. وتتكون هذه الرسوبيات عند تراكيب تدفع بمياه البحر الساخنة والغنية بالمعادن المذابة فيما يشبه السحب تسمى المداخن السوداء (شكل 17 ـ 17). ومن أمثلة ذلك الصور التى التقطت بمرتفع شرقى المحيط الهادى بواسطة غواصة الابحاث إلفن. وكما يوضح الشكل 17 ـ 18 يعتقد أن الماء يتخلل جوانب المرتفع، وبتسخينه وتفاعله مع البازلت يقوم باستخراج ونقل الكبريت والحديد والنحاس ومعادن أخرى ليخرج بعدهـا من خلال التصدعـات بالقرب من محور



شكل 17 ـ 17
أحد حوالى أربعة وعشرون مما سمى بالمداخن السوداء والتى وجدت باستعمال غواصة الأبحاث إلفن عند خط عرض 21° شمالا فوق مرتفع شرقى المحيط الهادى فى (شهر الماء) مايو من سنة 1979 م. وما سمى بالدخان هو ماء ساخن غنى بمعادن الحديد والنحاس والزنك وعند ملامسة الماء الساخن لمياه البحر الباردة تترسب كبريتات المعادن والتى توجد الآن محيطة بهذه المداخن.

المرتفعات وعند وصوله الى قاع المحيط يبرد مكونا كتلا رسوبية من الكبريتيدات.

ونظرا لارتفاع درجة حرارة الأجزاء الجديدة لقاع المحيط فإنها تتجه الى الطفو. ويعتقد أن هذا الاتجاه يعمل على فصل كتل كبيرة عن قاع المحيط وحيث أن معدل انفراج قاع المحيط الأطلسى بطىء نسبيا فإن انفصال هذه الكتل عن قاع المحيط يكون اكبر وضوحا من مواقع الانفراج السريعة بمرتفع قاع المحيط الهادى. وعليه فان القطع المرفوعة عند مرتفع وسط المحيط الأطلسى تكوّن جدرانا عمودية تحد نطاق التصدع. وبابتعاد هذه الكتل وبتكون غيرها تعمل هذه الظاهرة على المشاركة فى زيادة ارتفاع مرتفع وسط المحيط الأطلسى بالاضافة الى زيادة التجاعيد الطبوغرافية.

والسبب الرئيسى لارتفاع تركيبة وسط المحيط هو ارتفاع حرارة أجزائه الجديدة وبالتالى شغلها حجما اكبر من الصخور الأكثر برودة. وبتحرك الأجزاء الجديدة لقشرة قاع المحيط تبرد بالتدريج ومن ثم تنكمش. وتساعد زيادة عمق

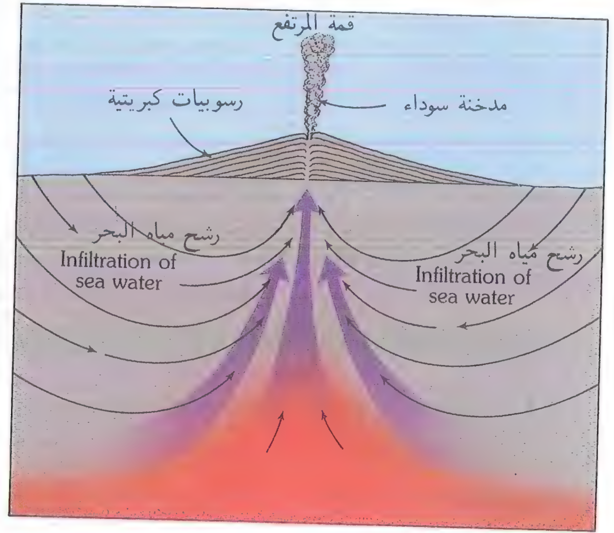


شكل 17 ـ 17
أحد حوالى أربعة وعشرون مما سمى بالمداخن السوداء والتى وجدت باستعمال غواصة الأبحاث إلفن عند خط عرض 21° شمالا فوق مرتفع شرقى المحيط الهادى فى (شهر الماء) مايو من سنة 1979 م. وما سمى بالدخان هو ماء ساخن غنى بمعادن الحديد والنحاس والزنك وعند ملامسة الماء الساخن لمياه البحر الباردة تترسب كبريتات المعادن والتى توجد الآن محيطة بهذه المداخن.

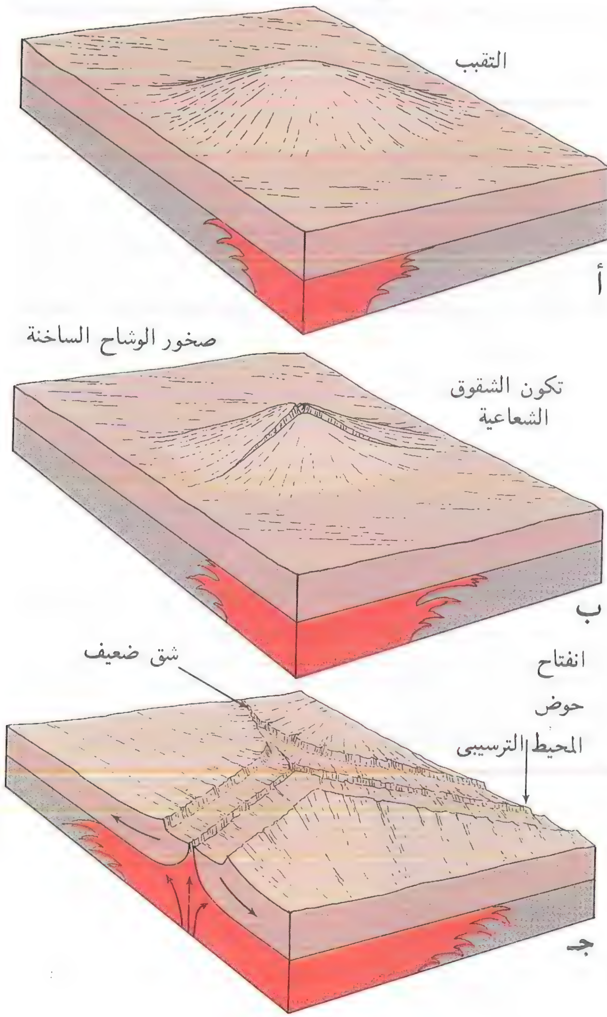
المرتفعات وعند وصوله الى قاع المحيط يبرد مكونا كتلا رسوبية من الكبريتيدات.

ونظرا لارتفاع درجة حرارة الأجزاء الجديدة لقاع المحيط فإنها تتجه الى الطفو. ويعتقد أن هذا الاتجاه يعمل على فصل كتل كبيرة عن قاع المحيط وحيث أن معدل انفراج قاع المحيط الأطلسى بطىء نسبيا فإن انفصال هذه الكتل عن قاع المحيط يكون اكبر وضوحا من مواقع الانفراج السريعة بمرتفع قاع المحيط الهادى. وعليه فان القطع المرفوعة عند مرتفع وسط المحيط الأطلسى تكوّن جدرانا عمودية تحد نطاق التصدع. وبابتعاد هذه الكتل وبتكون غيرها تعمل هذه الظاهرة على المشاركة فى زيادة ارتفاع مرتفع وسط المحيط الأطلسى بالاضافة الى زيادة التجاعيد الطبوغرافية.

والسبب الرئيسى لارتفاع تركيبة وسط المحيط هو ارتفاع حرارة أجزائه الجديدة وبالتالى شغلها حجما اكبر من الصخور الأكثر برودة. وبتحرك الأجزاء الجديدة لقشرة قاع المحيط تبرد بالتدريج ومن ثم تنكمش. وتساعد زيادة عمق



شكل 17 ـ 18
رسوبيات كبريتية تكونت بمرور الماء خلال وسط تمدد قاع المحيط وبدخول الماء داخل القشرة المحيطية البازلتية تلتقط مع الكبريت والحديد والنحاس وبعض المعادن الأخرى. ويرجع الماء الى سطح قاع المحيط بالقرب من قمة المرتفعات. قد يترسب بعض هذه الكبريتات خلال شقوق مساراتها. وبملامسة الماء الساخن لمياه البحر الباردة تترسب الكبريتات فى شكل كتل سميكة.



شكل 17 ـ 19
رسم يوضح تقبب وانشطار القشرة الأرضية القارية فوق احد البقع الساخنة.

المياه بعيداً عن مرتفعات وسط المحيط جزئيا على الانكماش الحرارى لهذه الصخور فقد يلزم مرور 100 مليون سنة تقريبا لتوقف عملية التبريد والانكماش تماما. وعند ذلك تصبح الصخور التى كانت جزءا من مرتفعات وسط المحيط داخل أعماق حوض المحيط الترسيبى مغطاة بطبقة سميكة من الرسوبيات.

انفتاح وانغلاق الأحواض المحيطية الترسيبية

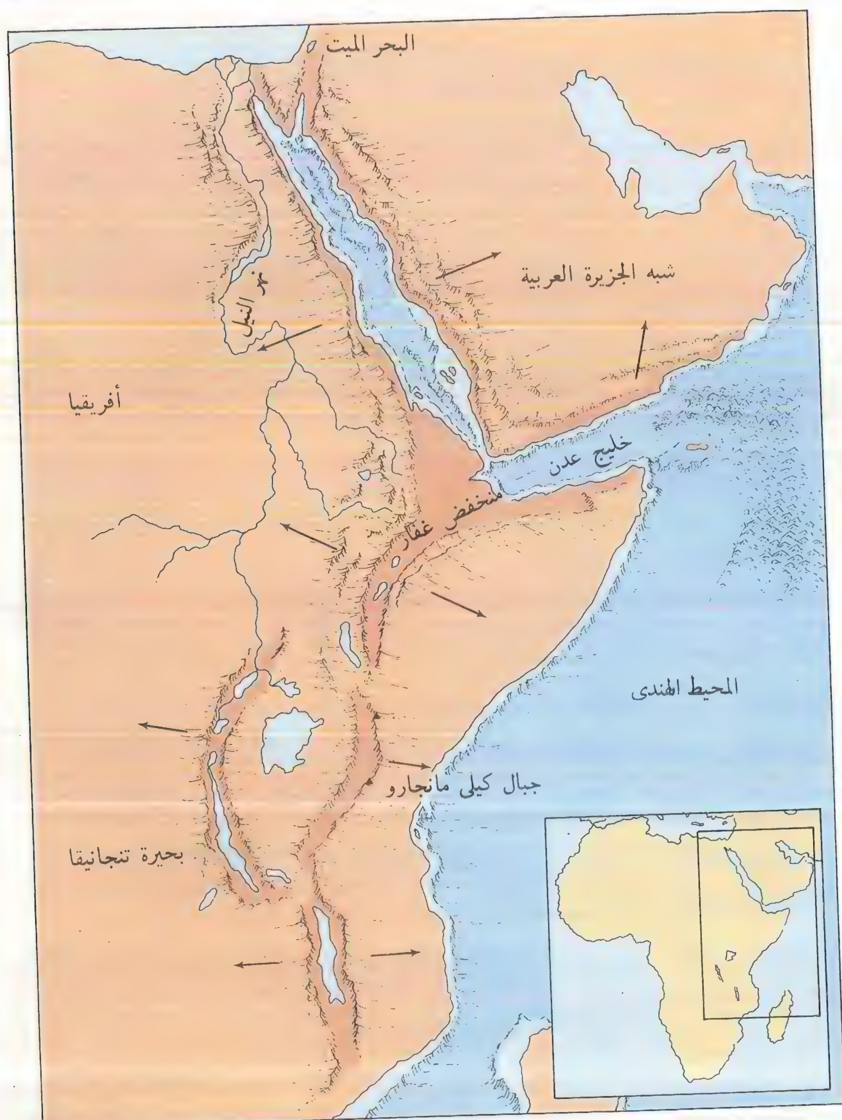
تراكمت أدلة كثيرة لمساندة حقيقة انقسام قارة واغنر العظمى المسماة بالبنجيا وذلك حوالى 200 مليون سنة مضت. ومن نتائج هذا الانقسام القارى المهم، تكون محيط جديد هو المحيط الأطلسى. ويظهر ان انقسام قارة البنجيا وتكوين المحيط الأطلسى قد حدث على مدى 150 مليون سنة. وكانت آخر مراحله إنفصال جرينلاند والكتلة القارية الأسيوأوروبية والتى بدأت حوالى 50 مليون سنة مضت.

وبالرغم من أن إنقسام القارات قد تم توثيقه إلا أن السؤال الذى ما زال مطروحا هو: ما هو السبب فى هذا الانقسام؟ وسبق أن تناولنا دور تيارات الحمل كقوة محركة

لألواح القشرة الأرضية (الفصل 16). ويظهر أنه من المعقول افتراض أن تيارات الحمل بالغلاف الصخرى قد تسبب فى تصدع وانقسام القارات. غير أن شكل حواف القارات المنقسمة وكثرة البقع الساخنة الواقعة على طول قمم مرتفعات قيعان المحيطات قد أوحى الى البعض بأن يستخلصوا بأن البقع الساخنة قد تسببت فى هذا التفتت القارى.

تذكر أن **البقع الساخنة** تمثل ألسنة الصخور المنصهرة والتى يعتقد أن منشأها عميق داخل الغلاف. وتتميز البقع الساخنة بدفع اللابا البازلتية لمدة طويلة. وتعد البراكين المنعزلة ذات العلاقة بالبقع الساخنة بحوالى 120 بركانا. وحيث أن هذه البقع تبقى تقريبا ثابتة فى مكانها لمدة طويلة فإنها تخلّف أثرا بركانيا وراءها وذلك فوق الألواح المحيطية المتحركة فوقها ومثال ذلك سلسلة هاواى.

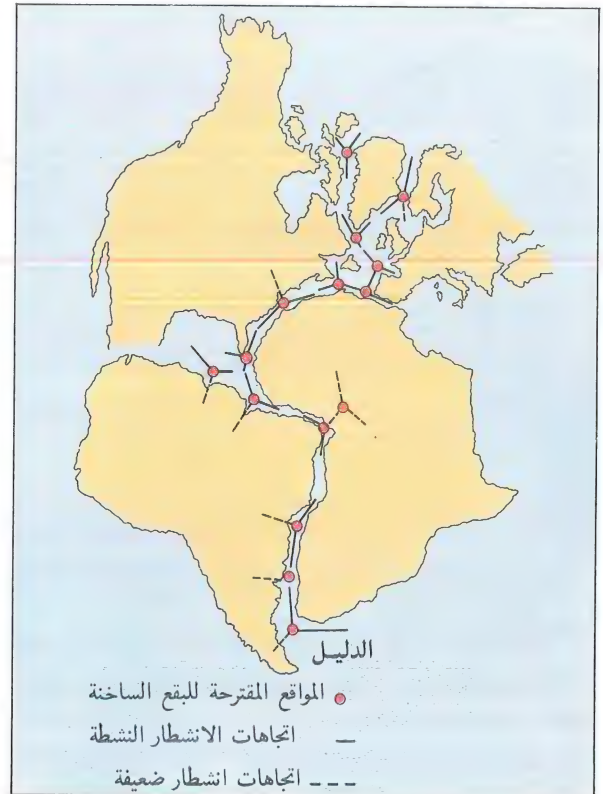
وقد اقترح الجيولوجى الكندى ج. توزو ولسون ومساعدوه أنه عندما تبقى قطعة قارية فوق أحد البقع



شكل 17 ـ 20

إنشطار شرق افريقيا وما سيترتب عليه.

الساخنة لمدة طويلة فإن الظروف تكون مواتية لانقسام قارى. ففى البداية ترتفع قبة داخل القشرة القارية بقطر يقدر بحوالى 200 كيلومتر تحت تأثير المواد المتصاعدة (شكل 17 ـ 19 أ). وباتساع القبة تتشقق فى ثلاثة اتجاهات (شكل 17 ـ 19 ب). ثم تستمر فى الانقسام على اتجاهين مكونين حوضاً محيطياً بينما يتوقف الاتجاه الثالث (شكل 17 ـ 19 جـ). وهذا الانقسام الثلاثى الأذرع يتمثل فى البحر الأحمر وخليج عدن ومنخفض غفار (شكل 17 ـ 20). ويمثل هنا الاتجاه الضعيف محور الامتداد من



شكل 17 ـ 21

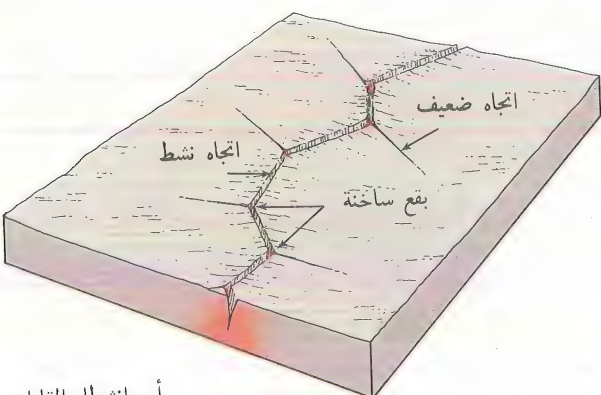
مواقع البقع الساخنة المحتملة مع أذرع الانشطار الثلاثة لكل منها والتى قد تكون مسئولة على شكل القارات وما حولها من محيطات. وفى بعض الأحوال يستمر فى الانشطار إتجاهان بينما يضعف الاتجاه الثالث.

منخفض غفار الى داخل القارة الأفريقية. أما الاتجاهان الباقيان النشطان فقد كونا بحرين ضيقين وطويلين.

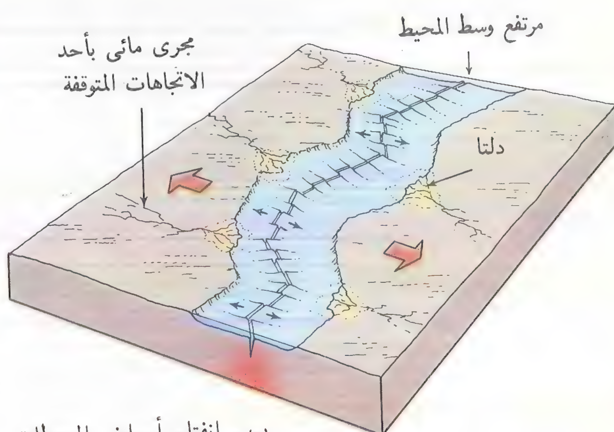
وقد اقترح ولسون أن حوالى 40 بقعة ساخنة قد ساهمت فى انقسام قارة البنجيا. ويوضح الشكل 17 ـ 21 المواقع المقترحة لمجموعة من هذه البقع والتشققات ذات العلاقة بها، والتى ربما شكلت حواف القارات التى تحيط بالمحيط الأطلسى اليوم. لاحظ أنه فى بعض الأحيان قد نشطت الاتجاهات الثلاثة فى الانشطار بينما اقتصر العمل فى البعض الآخر على إثنين منها فقط. وكثير من الاتجاهات الضعيفة تمتد الى داخل القارات وتكون عبارة عن منخفضات عميقة وضيقة مملوءة بالرسوبيات. وبعض أنهار العالم الرئيسة، والتى تشمل نهر النيجر والأمازون، قد أخذت فى البعض من أجزائها مسارات داخل هذه الاتجاهات الضعيفة.

وبالرغم من أن نظرية ولسون قد فسرت شكل القارات ووجود العديد من وديان الصدوع الضعيفة غير أنها لم تنل قبولا واسعا حتى الآن. وعموما اذا ما صحت هذه النظرية، وكان للبقع الساخنة دور فى تشقق القارات اكثر أهمية من دور انفراج قاع المحيطات فإن دور تيارات الحمل سيكون ثانويا. وبمعنى آخر فإن نظرية ولسون تقترح أن تصاعد الصهير على طول قمم مرتفعات وسط المحيطات قد لا يكون السبب فى انقسام القارة بل هو من نتاجها.

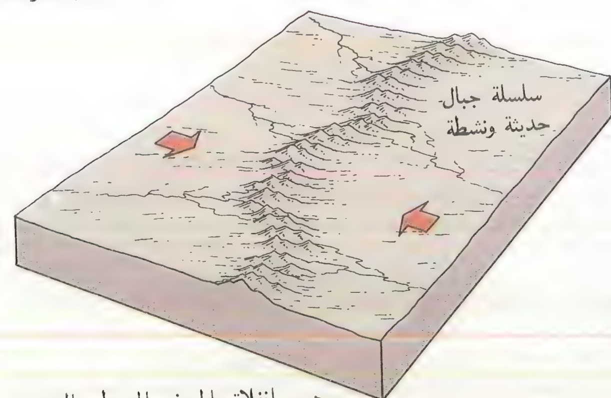
وقد اقترح ولسون سنة 1966 بأن المحيط الأطلسى قد انفتح وانغلق مرّة أخرى مكونا سلسلة جبال الأبالاش. ونجد اليوم أن كلا من المحيط الأطلسى والبحر الأحمر وخليج كاليفورنيا فى دور الانفتاح، بينما البحر المتوسط والمحيط الهادى فى دور الانغلاق. بالاضافة الى أن جبال الهيمالايا والأورال تمثل مواقع أحواض محيطات سابقة. وحيث أن ولسون قد اقترح هذه الدورات المعقدة من انفتاح أحواض المحيطات الترسيبية وانغلاقها فقد سميت بدورات ولسون (شكل 17 ـ 22).



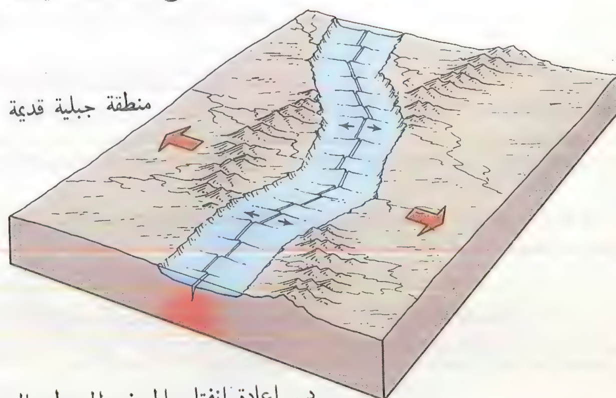
أ ـ انشطار القارات



ب ـ انفتاح أحواض المحيطات



جـ ـ انغلاق الحوض المحيطى الترسيبى



د ـ اعادة انفتاح الحوض المحيطى الترسيبى

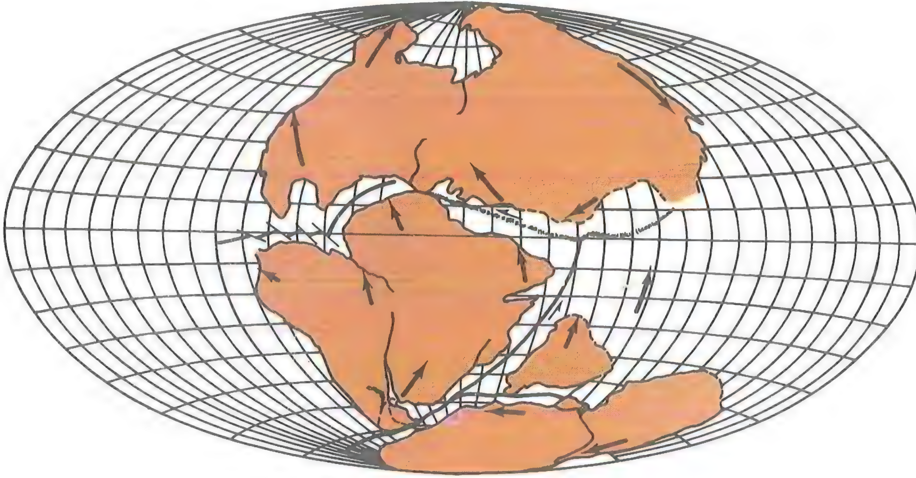
شكل 17 ـ 22

دورة ولسون. رسم يوضح تكون السلاسل الجبلية عقب عملية انفتاح وانغلاق احواض المحيطات الترسيبية.

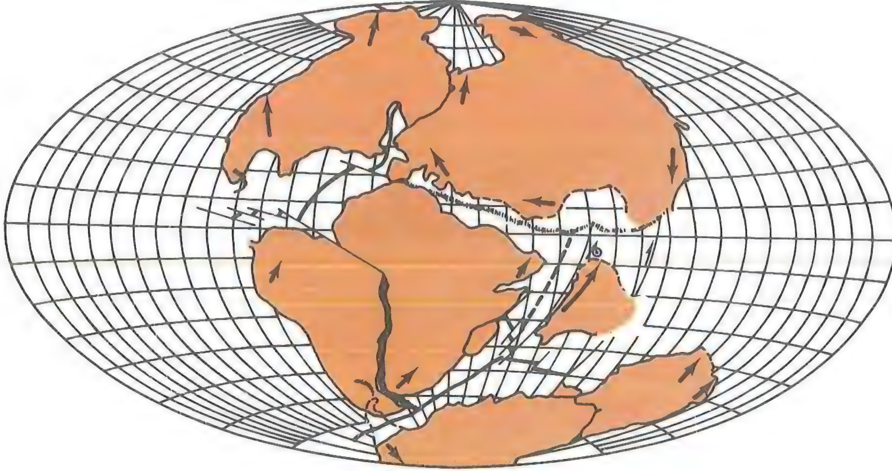
وعندما ينغلق محيط ثم ينفتح مرّة أخرى فإن موقع تصدعه قد يأخذ اتجاها مختلفا عن خط تلاقى الكتل القارية الملتحمة. فعند إنغلاق المحيط الأطلسى السابق منذ حوالى 400 مليون سنة مضت فإن خط التلاقى إمتد من ولاية ألباما الأمريكية الى الجزر البريطانية والنرويج. وعند إنفتاحه مرّة أخرى، منذ حوالى 200 مليون سنة مضت، حدث الانقسام على طول محور جديد تقريبا وعليه فإن حجم وشكل القارات يتغير بتغير الوقت. وفى الجزء التالى سنتفحص بتفصيل اكثر دورات ولسون وعلاقتها بتقسيم قارة البنجيا.

البنجيا: ما قبلها وما بعدها

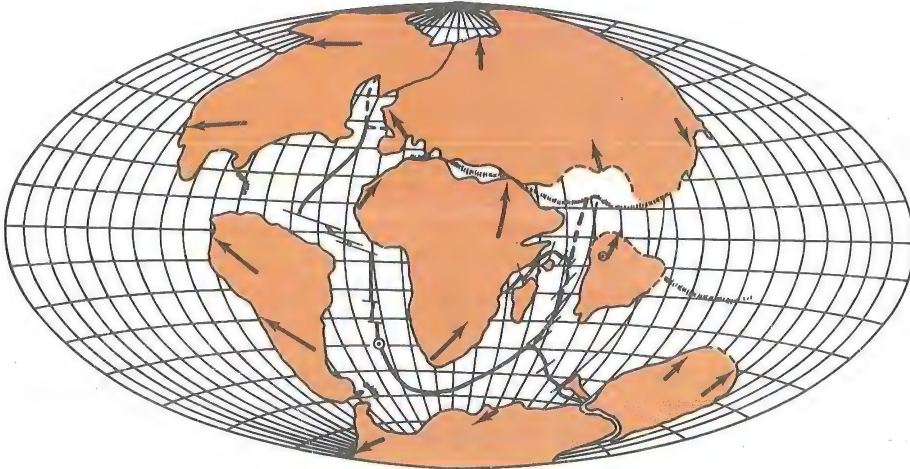
قدم روبرت دايتز وجون هولدن تفاصيل تحرك القارات على مدى 500 مليون سنة. وباستقراء حركة الألواح القارية عبر الزمن والأدلة التى تشمل اتجاه التراكيب البركانية المتبقية فوق الألواح المتحركة وتوزيع واتجاه حركة فوالق



أ ـ 180 مليون سنة مضت (الحين الترياسى)

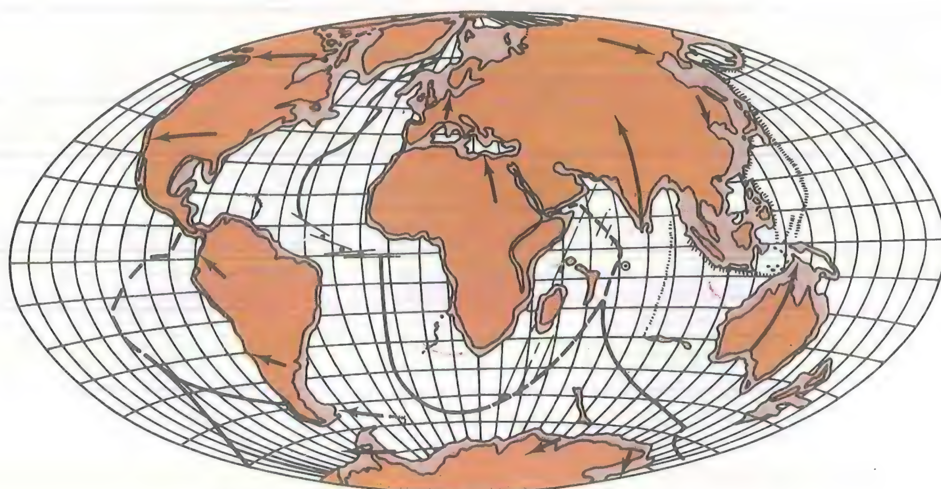


ب ـ 135 مليون سنة مضت (الحين الجوراسى)



جـ ـ 65 مليون سنة مضت (الحين الكريتاسى)

شكل 17 ـ 23 أ، ب، جـ
إنشطار قارة البنجيا على مدى 200 مليون سنة كما وردت عن دايتز وهولدن (ر. دايتز وجون هولدن، مجلة أبحاث العلوم الجيوفيزيائية، 75 : 4939 ـ 56 ـ 1970).



د ـ الوقت الحاضر

شكل 17 ـ 23 د

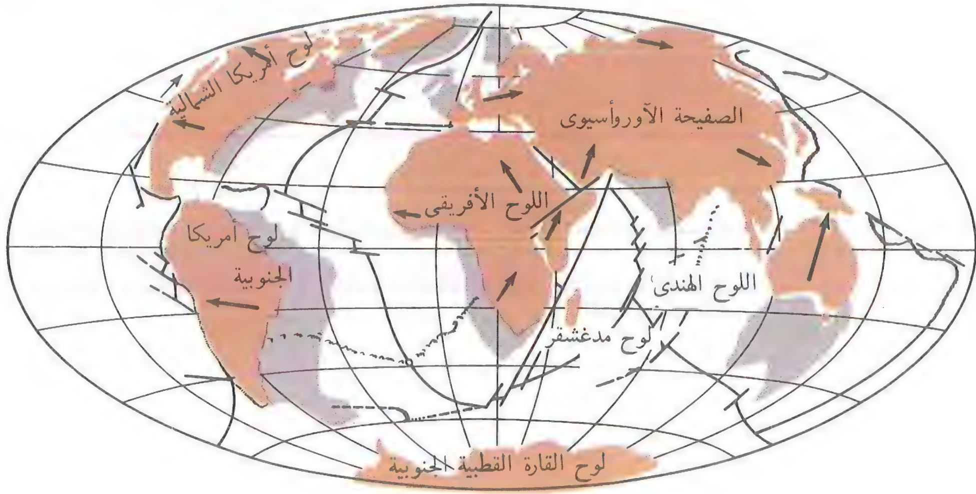
التحويل بالاضافة الى مغناطيسية الصخور القديمة، تمكن دايتز وهولدن من اعادة تركيب قارة البنجيا (شكل 16 ـ 1). وقد استعانا باستعمال العناصر المشعة لتقدير عمر الصخور فى وضع الجدول الزمنى لتكون وانقسام البنجيا. وقد ساعدت مواقع البقع الساخنة الثابتة عبر الزمن فى تحديد مواقع القارات.

إنقسام البنجيا

بدأ انقسام البنجيا حوالى 200 مليون سنة مضت. ويوضح الشكل 17 ـ 23 الانقسام والمسارات التى اتخذتها الكتل القارية ذات العلاقة. وكما يلاحظ من الشكل 17 ـ 23 أ أن انشطارين رئسيين قد بدءا عملية الانقسام. قد تسبب نطاق الانشطار بين امريكا الشمالية وأفريقيا فى العديد من الطفح البازلتى أثناء الحين الترياسى والتى توجد على الحدود البحرية الشرقية للولايات المتحدة. وقد دل تقدير أعمار هذه الصخور البازلتية أن الانشطار قد حصل بين 200 و 165 مليون سنة مضت وهو تاريخ مولد هذا الجزء من المحيط الأطلسى. أما الانشطار الجنوبى لكتلة جوندوانا فكان على شكل Y والذى دفع بالهند فى رحلتها تجاه الشمال وفصل فى الوقت نفسه أفريقيا عن أمريكا الجنوبية وفصل استراليا عن قارة القطب الجنوبى.

ويوضح الشكل 17 ـ 23 ب موقع القارات 135 مليون سنة مضت، وهو الوقت التقريبى لانفصال أمريكا الجنوبية عن أفريقيا لتكوين جنوب المحيط الأطلسى. وترى الهند فى منتصف رحلتها الى آسيا بينما اتسع الجزء الشمالى للمحيط الأطلسى. وبانتهاء الحين الكريتاسى (حوالى 65 مليون سنة مضت) إنفصلت جزيرة مدغشقر عن أفريقيا واكتمل تكوين الجزء الجنوبى للمحيط الأطلسى (شكل 17 ـ 23 جـ). وهنا وصلت الهند فوق أحد البقع الساخنة مما تسبب فى العديد من الطفوح البازلتية غرب الهند والذى يعرف الآن بسهل دكا. والخريطة الحالية للعالم (شكل 17 ـ 23 د) توضح اتصال الهند بآسيا والذى حدث حوالى 45 مليون سنة مضت مكونة الهيمالايا وهى أعلى جبال العالم وذلك بالاضافة الى مرتفعات التبت. ويعتقد أن استمرار الهند فى التقدم شمالا هو السبب فى الزلازل المدمرة التى تهز ذلك الجزء من العالم.

وبمقارنة الشكلين 17 ـ 23 جـ و 17 ـ 23 د يمكن ملاحظة أن انفصال جرينلاند عن اوراسيا كان حدثا



شكل 17 ـ 24
العالم كما سيكون عليه بعد 50 مليون سنة من الآن.

جيولوجيا حديثا، كما يمكن ملاحظة المولد الحديث لشبه جزيرة باها على طول خليج كاليفورنيا والذى يعتقد أنه حدث منذ أقل من 10 ملايين سنة مضت.

ما قبل البنجيا

قبل تكوّن قارة البنجيا قد تكون الكتل القارية قد مرت خلال عدة مراحل من الانقسام تشبه ما يحدث اليوم. وكذلك كما يحدث فى الوقت الحاضر فقد ابتعدت القارات عن بعضها البعض لتتصادم مرة أخرى فى موقع آخر. وخلال المدة بين 50 و 225 مليون سنة مضت تجمعت قطع قارية قديمة لتكوّن قارة البنجيا. وجبال الأورال السوفياتية الى جانب جبال الأبالاش أدلة على تصادم القطع القارية القديمة.

والدلائل تشير الى أنه حوالى 500 مليون سنة مضت قد انقسمت القارة الأسيوأوروبية الشمالية الى ثلاثة أقسام رئيسة: أمريكا الشمالية وأوروبا الشمالية (كانت أوروبا الجنوبية جزءا من أفريقيا) وسيبيريا. وأثناء ذلك الوقت يعتقد أن قارة جوندوانا الجنوبية كانت محافظة على تماسكها قرب القطب الجنوبى. ويعتقد بأن أول تصادم حصل بين أمريكا الشمالية وأوروبا قفل محيط ما قبل الأطلسى مما نتج عنه تكوّن جبال الأبالاش. ويمكن اليوم مشاهدة أجزاء من قاع هذا المحيط السابق فوق مستوى سطح البحر بنوفا سكوشيا. وعليه فإن معدن الفضة المتواجد شرقى هذا النطاق بكل من كندا وأمريكا يمكن اعتباره هدية من أوروبا إن صح التعبير. كما يعتقد أن أجزاء من سكوتلاندا وأيرلندا والنرويج كانت متصلة بلوحة أمريكا الشمالية قبل تصادمها بأوروبا. وأثناء تصادم أمريكا الشمالية وأوروبا كانت سيبيريا تعمل على قفل الفجوة بينها وبين أوروبا التى تقع غربها. ويعتقد أن هذا الالتحام حدث حوالى 300 و 350 مليون سنة مضت ليكون جبال الأورال. وقد أدى التحام هذه الكتل من اليابسة الى تكوين القارة الأسيوأوروبية.

وأثناء الخمسين مليون سنة التالية تقاربت كتلتى اليابسة الشمالية والجنوبية مكونتين قارة البنجيا العظمى. عند ذلك الوقت (حوالى 250 الى 300 مليون سنة مضت) تصادمت أمريكا الشمالية وأفريقيا مما نجم عنه تكوين جبال الأبالاش الجنوبية.

نظرة إلى المستقبل

بعد أن عمل كل من دايتز وهولدن على رسم صورة للأحداث التى أدت الى الوضع الحالى للقارات على مدى 500 مليون سنة فقد خطيا خطوة أبعد بتوقّع ما قد سيحدث فى المستقبل. ويوضح الشكل 17 ـ 24 توقعهما لوضع الكتل القارية بعد 50 مليون سنة من الآن. ومن التغيرّات المهمة إنفتاح بحر جديد شرقى أفريقيا. كما توقعا أن تنشط شبه جزيرة باها وجزء من جنوب كاليفورنيا الى الغرب من صدع سان أندرياس لتنزلق الى الشمال، حيث تمر مدينة لوس أنجلوس بمدينة سان فرنسيسكو أثناء حركة هذا الجزء المنشطر.

كما يعتقد بأن أفريقيا ستتحرك الى الشمال تدريجيا تجاه أوروبا، ربما لتكون المرحلة الرئيسة بالكرة الأرضية لبناء الجبال. كما ستكون أستراليا فى اتجاه حركى سيؤدى الى اصطدامها بغينيا الجديدة وآسيا. كذلك ستنفصل أمريكا الشمالية عن الجنوبية. وبالرغم من أن هذه التغيرّات المتوقعة مثيرة للغاية، غير أنه يجب النظر اليها بحذر شديد، حيث أنها مبنية على إفتراضات عدة يجب ان تثبت صحتها أولا. غير أن تغيرّاً ما ربما يشابه هذا التصور سيطرأ على شكل القارات ومواقعها على مدى ملايين من السنين القادمة.

أسئلة للمراجعة :

1 ـ اذا ما افترضنا أن معدل سرعة الموجات الصوتية بالماء 1500 متر فى الثانية. إحسب عمق الماء اذا ما بعثت إشارة بمقياس العمق الصوتى واستغرقت 6 ثوانى من وقت إرسالها الى إستقبالها (أنظر الشكل 17 - 3 أ).

2 ـ عدّد الظواهر الثلاثة التى تشكل حواف القارات؟ أى هذه الظواهر تعتبر إمتدادا مغمورا للقارة؟ أى هذه الظواهر له انحدار أكبر؟

3 ـ كيف يختلف شاطىء أمريكا الجنوبية الغربى عن شاطىء أمريكا الشمالية الشرقى؟

4 ـ دافع عن هذه الجملة: معظم الأودية البحرية المتواجدة على المنحدر والمرتفع القاريين قد تكونت أثناء الزمن الجليدى عندما امتدت مجارى المياه تجاه البحر.

5 ـ ما هى رسوبيات العكر؟ وما المقصود بالفرز الطبقى؟

6 ـ ناقش الدليل الذى ساعد على إثبات وجود تيارات العكر بالمحيطات؟

7 ـ لماذا تحتل سهول اللج بالمحيط الأطلسى مساحات أكبر منها بالمحيط الهادى؟

8 ـ ما هى الجزر المرجانية؟ ناقش نظرية دارون حول أصل هذه الجزر. وهل تم إثباتها؟

9 ـ ميز بين أنواع رسوبيات قاع المحيط الثلاثة.

10 ـ اذا ما تفحّصت رسوبيات حياتية حديثة من أعماق تزيد على 4500 متر، هل تتوقع أن تكون غنية بمكونات كلسية أو سليكية؟ إشرح ذلك.

11 ـ ما هى علاقة مرتفعات وسط المحيط والخنادق البحرية العميقة بانفراج قاع المحيط؟

12 ـ ما هو السبب الرئيسى فى زيادة مستوى المرتفعات بقاع المحيط عما حولها؟

13 ـ إشرح باختصار مقترح ج. توزو ولسون حول انشطار القارات. واذا ما صح اعتقاد ولسون فما هو تأثير ذلك على ما هو متداول حول دور تيارات الحمل بالصهير؟

14 ـ صف الاصطدام القارى الذى كوّن جبال الأبالاش والأورال.

15 ـ تقع فى الوقت الحاضر مدينة لوس انجلوس جنوب مدينة سان فرنسيسكو، غير أن هذا الموقع سينعكس بعد ملايين السنين أى أن لوس انجلوس ستقع شمال سان فرنسيسكو. إشرح كيف يمكن أن يحدث ذلك؟

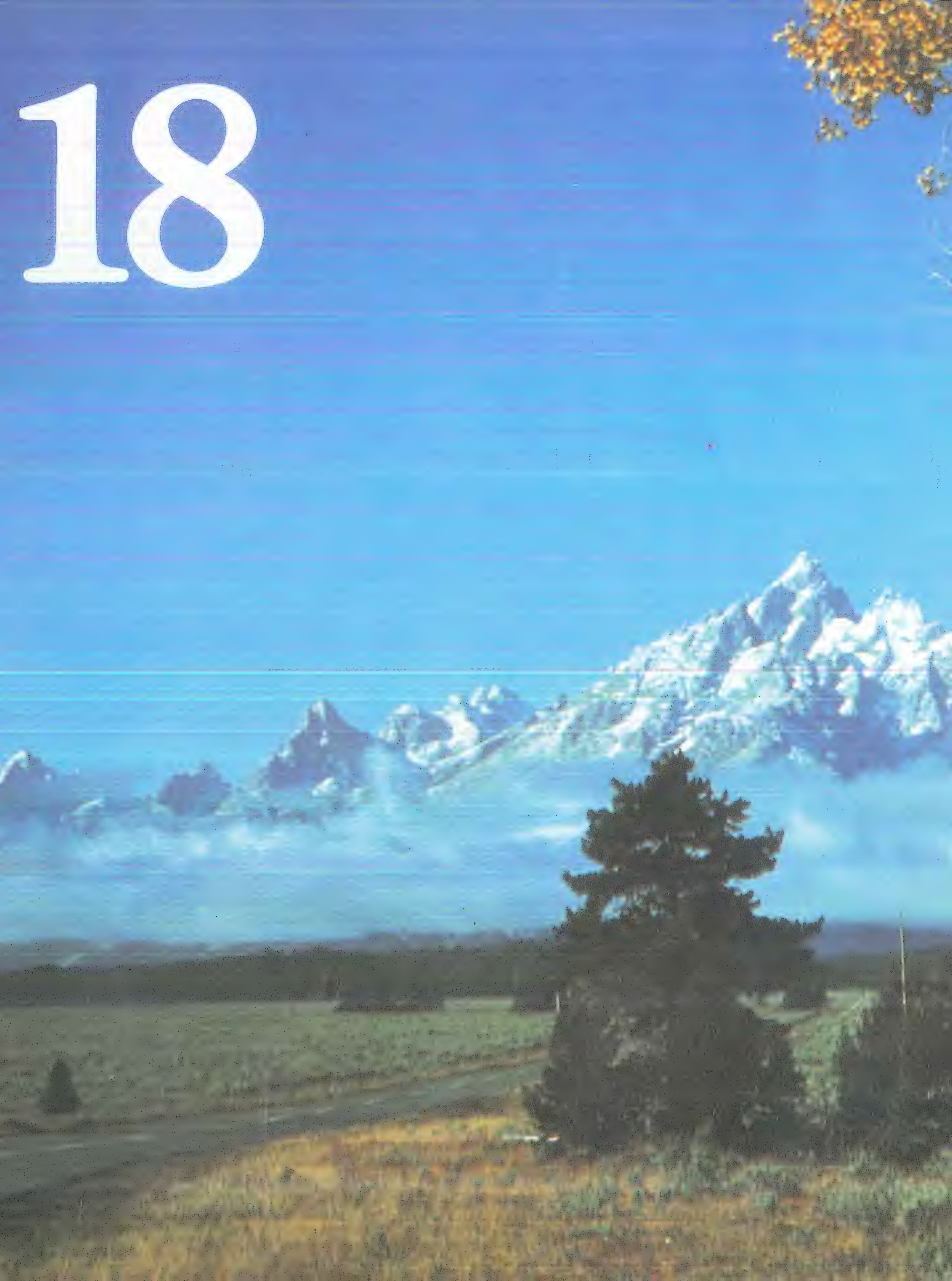
الكلمات الدالة :

بقعة ساخنة	hot spot
تيارات عكر	turbidity current
جذّة صفائحية	sheeted dike
جزيرة مرجانية	atoll
جيوت	guyot
حافة القارة	continental margin
حوض المحيط العميق	deep-ocean basin
خندق بحرى	trench
دورة ولسون	Wilson cycle
رسوبيات العكر	turbidite
رسوبيات اليابسة	terrigenous sediment
رسوبيات حياتية	biogenous sediment
رف قارى	continental shelf
سهل اللج	abyssal plain
طبقية متدرجة	graded bedding
عجيرة منجنيز	manganese nodule
مرتفع وسط المحيط	mid-ocean ridge
مركب أفيوليت	ophiolite complex
منحدر قارى	continental slope
مقياس العمق الصوتى	echo sounder
نطاق صدعى	rift zone
قمة بركانية	seamount

18



بنـاء الجبال وتطور القارات


18

رفـع القشرة الأرضية

تشكل الصخور

- الطى
- المضرب والميل
- الصدوع
- الفواصل

أنمـاط الجبال

- الجبال المطوية
- جبال قوالب الصدوع
- الجبال المنبثقة

بناء الجبال

نظرية القعيرة العظمى

حركات بناء الجبال عند حواف الألواح

- حركات بناء الجبال عند أقواس الجزر البركانية
- حركات نشوء الجبال المصاحبة لعمليات الغوص على امتداد حواف القارات
- تصادم القارات

حركات نشوء الجبال وتنامى القارات

نشأة وتطور القشرة القارية

عادة ما تكون **الجبال** ظواهر ملفتة للنظر، ترتفع عدة مئات من الأمتار أو أكثر فوق التضاريس التى حولها. بعضها على هيئة كتل منعزلة، مثل المخروط البركانى المسمى كيليماجارو، الذى يقف 6000 مترا فوق مستوى سطح البحر مشرفا على الأراضى العشبية بشرقى افريقيا. واخرى تكون جزءا من سلسلة جبلية كبيرة، مثل كورديليرا الأمريكية التى تمتد مستمرة من حافة امريكا الجنوبية مخترقة الاسكا. وبعض السلاسل الجبلية، مثل الهملايا، تكون حديثة العمر وشاهقة الارتفاع وما زالت مستمرة فى حركتها إلى أعلى. واحيانا اخرى تكون قديمة جدا وقريبة من الاضمحلال مثل جبال الابالاش بشرقى امريكا. وتسمى الخطوات التى تنتج فى مجملها مجموعة جبلية **ببناء الجبال**. وتوضح المجموعة الجبلية دليلا على أن قوى هائلة قامت بطى، وتصدع واعادة تشكيل اجزاء كبيرة من القشرة الأرضية (شكل 18 ـ 1). وبالرغم من أن اساليب الطى والتصدع قد ساهمت فى مظهر الجبال الشاهق، فان الفضل فى مظهرها الجميل يرجع فى كثير من الاحيان لتأثير المياه الجارية والجليد والتى تقوم بنقش هذه الكتل المرفوعة فى محاولات غير يائسة لانزالها الى مستوى سطح البحر.

ولقد ادرك الجيولوجيون بأن الجبال تلعب دورا هاما فى تطور القشرة الأرضية اضافة الى مظهرها الجذاب. ويعتقد بعض الجيولوجيين بأن القارات قد زادت فى حجمها عن طريق تكتل تضاريس طولية على حوافها. ويشير هؤلاء الجيولوجيون الى جبال الابالاش بشرقى الولايات المتحدة وجبال الانديز بأمريكا الجنوبية كمثال لهذا الازدياد. وتشير هذه النظرية إلى ان كل المناطق القارية تقريبا كانت جبلية فى يوم من الأيام وتم تخفيض مستواها الى الارتفاع الحالى بفعل التعرية. وسوف نعود الى هذه الفكرة فى وقت لاحق بهذا الباب، ولكن دعنا الآن نتفحص طبيعة رفع القشرة الأرضية، وكيف أن الصخور أعيد تشكيلها بعوامل مثل الطى والتصدع.

السفح الشرقى من سلسلة جبال تيتان

رفع القشرة الأرضية

تتواجد المستحاثات للافقاريات البحرية، عادة، فى المناطق الجبلية، وهو دليل على ان الصخور الرسوبية المكونة للجبل كانت فى يوم من الأيام تحت مستوى سطح البحر. وهذا دليل مقنع على أن بعض التغيّرات قد حدثت فى الفترة ما بين موت هذه الحيوانات واكتشاف باقى محتوياتها المتحجرة. وعادة ما يقدم هذا المثل كدليل على رفع القشرة

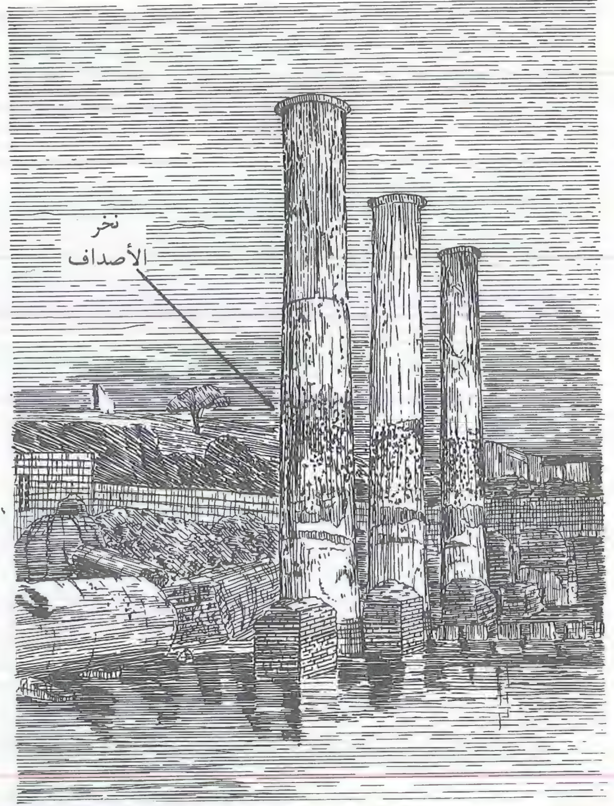
الأرضية فى السجل الجيولوجى الى جانب السجل التاريخى. فمثلا يبين الشكل 18 ـ 2 ثلاثة أعمدة من معبد رومانى تحوى تخريمات لقواقع على ارتفاع يصل الى ستة أمتار، مما يدل على ان المنطقة التى بنى عليها المعبد قد غمرت بالبحر ثم ارتفعت بعد ذلك تدريجيا. ويمكن تفسير هذه التخريمات ايضا بتغيرّ مستوى سطح البحر، الا ان هذا التغيرّ لم يلاحظ فى أى مكان آخر بنفس الفترة. ويوجد دليل آخر على ارتفاع القشرة الأرضية على طول الشاطىء الغربى للولايات المتحدة، حيث بقيت المنطقة الساحلية ساكنة لفترة زمنية طويلة فى الوقت الذى قطعت فيه الأمواج مصطبة خفيفة الميلان على هذا الشاطىء. وتوجد بمناطق كاليفورنيا بغربى الولايات المتحدة الآن مسطحات ترتفع مئات الأمتار فوق مستوى سطح البحر تكونت نتيجة لفعل قطع الأمواج منذ فترة زمنية قديمة (شكل 18 ـ 3). ويبين كل مسطح من هذه المسطحات الفترة التى كانت فيه تلك المنطقة على مستوى سطح البحر. الا انه لسوء الحظ لا يمكن دائما الوصول إلى سبب الرفع هذا بالسهولة التى نحدد بها حصول الحركة.

ونحن نعرف بأن قوة الجاذبية لا بد وانها تلعب دورا هاما فى مدى ارتفاع سطح الأرض. وبالتحديد فان **الغلاف الصخرى** يعتقد بأنه يطفو فوق **الغلاف الوهن** حيث أن الأخير اكبر كتلة واسهل للتشكل من الغلاف الصخرى. وتسمى نظرية طفح الغلاف الصخرى فى توازن لقوة الجاذبية بنظرية **التوازن الأرضى**. وربما كان اسهل طريقة لتصور التوازن الأرضى بتشبيه القشرة الأرضية بجذوع الأشجار الطافية فوق الماء. تصور طفو جذعين للأشجار

شكل 18 ـ 1

الطى الشديد للطبقات يعطى دليلا على القوى التى تبدّل صخور القشرة الأرضية.





شكل 18 ـ 2

الاعمدة الباقية من معبد رومانى قديم بايطاليا سنة 1836 . لاحظ أن ثقوب الاصداف البحرية ترتفع 6 أمتار عن مستوى سطح البحر مما يدل على حدوث انخفاض فى مستوى سطح البحر.

فوق الماء احدهما اكثر سمكا من الآخر وبذا فان الجذع الأثخن سيرتفع فوق سطح الماء اعلى من الاصغر سمكا وبنفس الطريقة فانه يعتقد بأن المناطق الجبلية تشكل مقاطع جدّ سميكة من القشرة الأرضية، فى حين ان المناطق المنخفضة تمثل أجزاء أقل سمكا من القشرة الأرضية. وتشبه الجبال الجذوع الثخينة، ليس فقط فى امتدادها فوق السطح بل ايضا فى كونها تمتد اكثر الى اسفل لتصل للمواد المدعمة لها (شكل 18 ـ 4). ولقد تم تأكيد هذه الحقائق بالبيانات السيزمية ودراسات الجاذبية.

وبتتبع هذه الفكرة خطوة ابعد، فان الغلاف الصخرى تحت قيعان المحيطات لا بد وانه اقل سمكا حيث انه اقل ارتفاعا. ومع ان هذه حقيقة واقعة الا ان الصخور المحيطية لها كتلة اكبر من تلك التى للصخور القارية وهو عامل آخر لموضعها المنخفض.

ولو صحت نظرية التوازن الأرضى فاننا نتوقع انخفاض القشرة الارضية كتجاوب وعند ارتفاعها زوال هذا الوزن. (تصور ماذا يحدث للسفينة عندما تشحن وتفرغ من حمولتها). والأدلة الموجودة عن هذه الحركة تؤيد بقوة نظرية اعتدال التوازن الأرضى. فمثلا وعند بناء سد هوفر فى الثلاثينات فان كميات المياه من بحيرة ميد الواقعة وراءه وكذلك ملايين الأطنان من الرسوبيات قد أدت الى انخفاض المنطقة وأشارت إلى زيادة النشاط السيزمى. ومثال آخر نموذجى مستمد من الكتل الجليدية التى غطت مناطق من أمريكا الشمالية فى فترة البليستوسين فالوزن المضاف والناتج عن الجليد الذى بلغ سمكه 3 كيلومترات قد سبب فى طى القشرة الأرضية الى اسفل. وخلال 8000 الى 10,000 سنة منذ ذوبان آخر طبقة جليدية فان الطبقات الأرضية ارتفعت بما مقداره 330 مترا بمنطقة خليج هدسون حيث تجمعت طبقة جليدية أكثر سمكا (انظر الشكل 11 ـ 29).

وكما تبين الامثلة السابقة فان اعتدال نظرية التوازن الأرضى هى المسئولة على حركة القشرة الأرضية. وعليه فاننا نستطيع أن نفهم الآن بأن القشرة الأرضية ترتفع استجابة لتناقص وزن الحمولة بعد نحت قمم الجبال. وتستمر مراحل الارتفاع والنحت هذه لحين تساوى ارتفاع المناطق العميقة من الجبال مع القشرة الأرضية المحيطة بها (شكل 18 ـ 4). اضافة لذلك فان وزن الرسوبيات المنحوتة من قمم الجبال والمترسبة على الحواف القارية المجاورة تسبب فى عملية انخفاضها.

ويمكن تلخيص ذلك بالقول بأن الجبال هى المناطق التى بها القشرة الأرضية زائدة فى السمك وهى التى تبقى



شكل 18 ـ 3

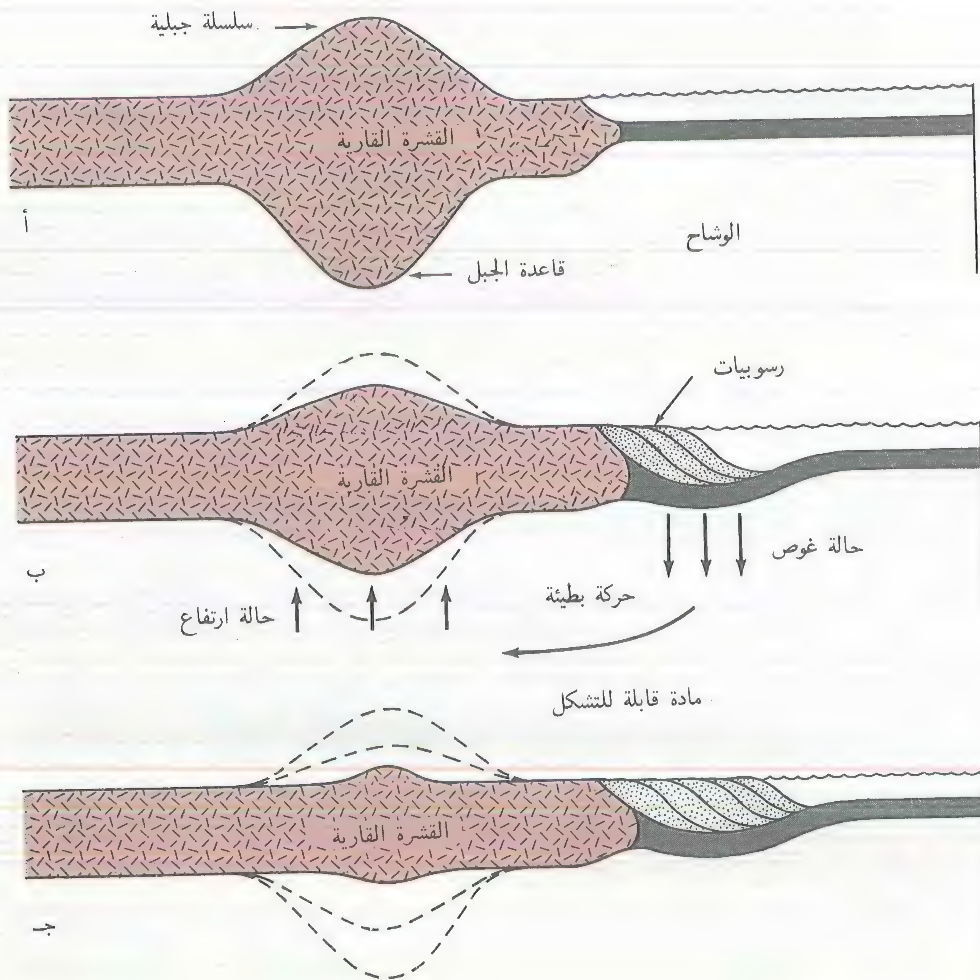
مساطب قطعتها الامواج بمنطقة جنوب كاليفورنيا. لقد كانت فى يوم من الأيام على مستوى سطح البحر، وترتفع المساطب العليا حاليا 400 متر فوق ذلك المستوى.

اعلى من المناطق المجاورة لها، وذلك نتيجة للتوازن الأرضى. وكلما ازاحت التعرية موادا، فان اعتدال التوازن الأرضى يقوم برفع المناطق الجبلية تدريجيا كرد فعل لتلك الازاحة. وفى النهاية فان اعمق المناطق الجبلية تتساوى مع صخور القشرة الأرضية الضحلة المحيطة. والسؤال الذى يحتاج الى اجابة هو، كيف تكونت هذه الصخور السميكة؟

تشكّل الصخور

عندما تتعرض الصخور لجهد يفوق احتمالها. تبدأ فى التشكّل عادة بالطى أو الانكسار. ومن السهل أن نتخيل كيف يتم تكسر الصخور، ولكن كيف يتم طى هذه الصخور طيا شديدا دون إنكسارها؟ (شكل 18 ـ 5). وفى محاولة للاجابة على هذا السؤال، لجأ الجيولوجيون الى المختبر، حيث عرّضوا الصخور للجهد فى الوقت الذى خلقوا ظروفا اعتقدوا بأنها موجودة تحت أعماق مختلفة بالقشرة الأرضية.

ومع أن مختلف الصخور تتشكّل بدرجات مختلفة، الا أن الخصائص العامة لتشوّه الصخور قد استنتجت من هذه التجارب. فلقد اكتشف الجيولوجيون انه عند تعرّض الصخور للجهد تدريجيا وتحت ضغط منخفض فان هذه الصخور تستجيب اولا **بالتشكّل المطاطى**. والتغيرات

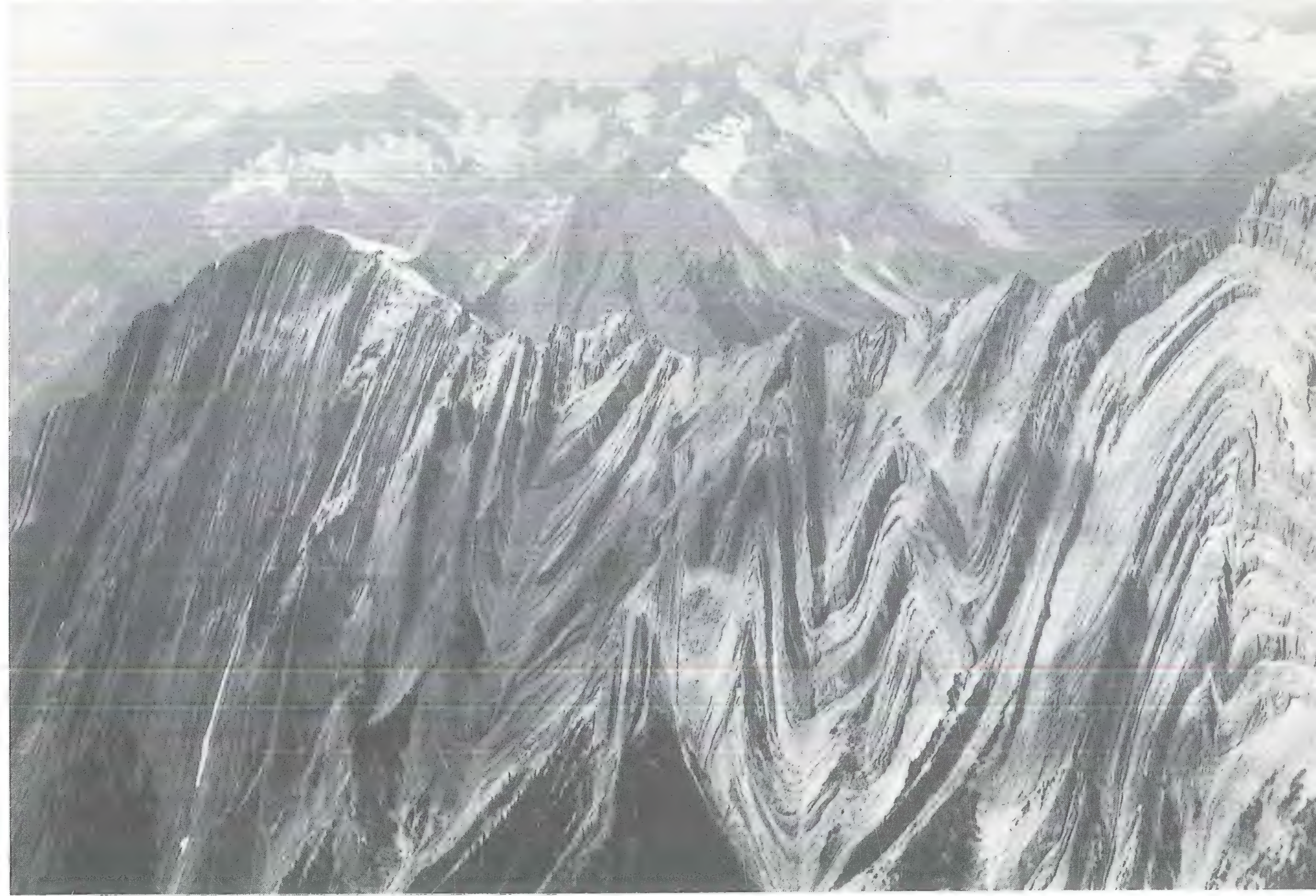


شكل 18 ـ 4

يبين هذا التتابع أن تأثير التعرية واتزان القشرة الأرضية ينتج عنهما نقص فى سمك القشرة الأرضية بالمناطق الجبلية.

الناتجة من التشكّل المطاطى هى تشكلات انعكاسية، أى انها مثل الشريط المطاطى. فالصخور ترجع تقريبا الى حجمها وشكلها السابق عند ازاحة الجهد. الا انه عند تجاوز حد المرونة فان الصخر اما أن ينكسر أو يتشكّل تشكّلا لدنا. والتشكّل اللدن ينتج تغيّرات دائمة، أى أن حجم وشكل الوحدة الصخرية يتغير من خلال الطى والانسياب. ولقد اكدت التجارب المعملية الاعتقادات السائدة بأن معظم الصخور تتشكّل لدائنيا عند تعرضها لضغط ودرجة حرارة عاليين وذلك بعد اجتيازها لمرحلة المرونة (شكل 18 ـ 6). كما تتشكل الصخور المقامة عند سطح الأرض تشكّلا مرنا، الا انه عند اجتيازها للحد المرن فان معظمها تتصرف وكأنها مادة صلبة وبعدها تتصدع.

تذكر بأن الطاقة المصاحبة لمعظم الزلازل مستمدة من الطاقة المخزنة والتى يتم اطلاقها عند تصدع الصخر وعودته الى شكله الأصلى.



شكل 18 ـ 5

صخور رسوبية شديدة التشكل بمنطقة جبال الروكى قرب نهر سوليفان.

عامل واحد ليس بالامكان محاكاته بالمعمل هو الزمن الجيولوجى. فنحن نعرف انه اذا ما وقع الجهد بسرعة مثل حالة المطرقة مثلا فان الصخور تتكسر. وفى نفس الوقت فان هذه المواد تتشكل تشكلا لدنا اذا ما وقع الجهد على فترة زمنية اطول. فمثلا لقد عرف بأن مقاعد الرخام تنحنى نتيجة لوزنها بعد مرور مئات السنين عليها. وفى الطبيعة لا بد وان للقوى الصغيرة دور مهم فى تشكل الطبقات الصخرية.

ومراحل التشكل تولد ظواهر طبيعية بأحجام ودرجات مختلفة. فمن جهة هناك الظواهر الكبيرة الحجم ـ كالأنظمة الجبلية الضخمة للأرض، ومن جهة أخرى فان الجهد العالى ينتج تكسرات صغيرة فى الطبقات بمختلف المناطق. وكل هذه الظواهر، من اكبر الطيات بجبال الألب إلى أصغر التكسرات فى أى صخر، يشار اليها بتركيبات الصخور. وسنناقش بعض هذه التركيبات الأكثر ديمومة فى الأجزاء القادمة من هذا الباب.



شكل 18 ـ 6

اسطوانة من المرمر تم تشكيلها بالمختبر بفعل آلاف الأرطال من الوزن التى وضعت فوقها. وكل عينة تم تشكيلها تحت ظروف ضغط مطابقة لظروف الضغط عند عمق معين. لاحظ انه عندما كان الضغط خفيفا تشكلت العينة بانكسارها انكسارا هشاً. اما عند الضغط العالى فقد كان تشكل العينة مرناً.

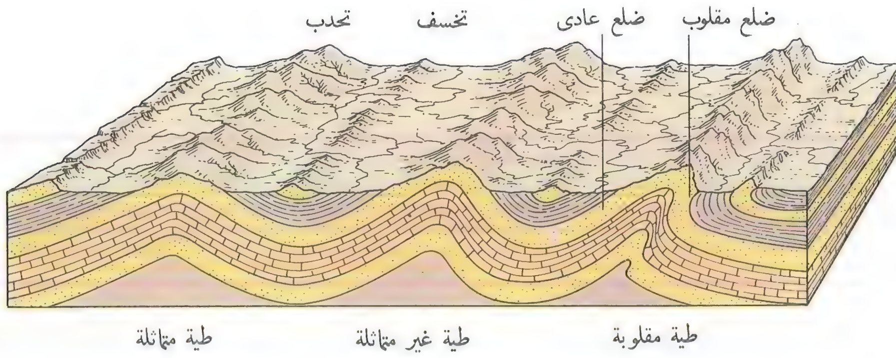
الطى

عند بناء الجبال، فان الطبقات المسطحة من الصخور الرسوبية والنارية عادة ما تطوى طيات عريضة، مثلما يحدث عند الامساك بطرفى قطعة من الورق ودفع هذين الجانبين فى اتجاهين متعاكسين. ونتيجة هذا الطى هو الزيادة فى سمك القشرة الأرضية وقصر طولها. وتدل التجارب على انه عند وجود الصخور الرسوبية تحت اعماق كبيرة فى القشرة الأرضية حيث الضغط عاليا، فان هذه الطبقات تدفع لتكون طيات محكمة واحدة فوق الاخرى، دون وجود تشققات تذكر. ويبين الشكل 18 ـ 7 بعضا من هذه التركيبات المطوية الشائعة.

وتسمى الطيات الطولية والمطوية الى اعلى **بالحنيرات**، فى حين يشار الى التراكيب المطوية الى اسفل **بالقعيرات**. وبامكاننا تعريف الحنيرات بالتكوينات التى تتواجد اقدم الطبقات بوسطها فى حين نعرّف القعيرات بالتراكيب التى تتواجد احدث الطبقات بوسطها.

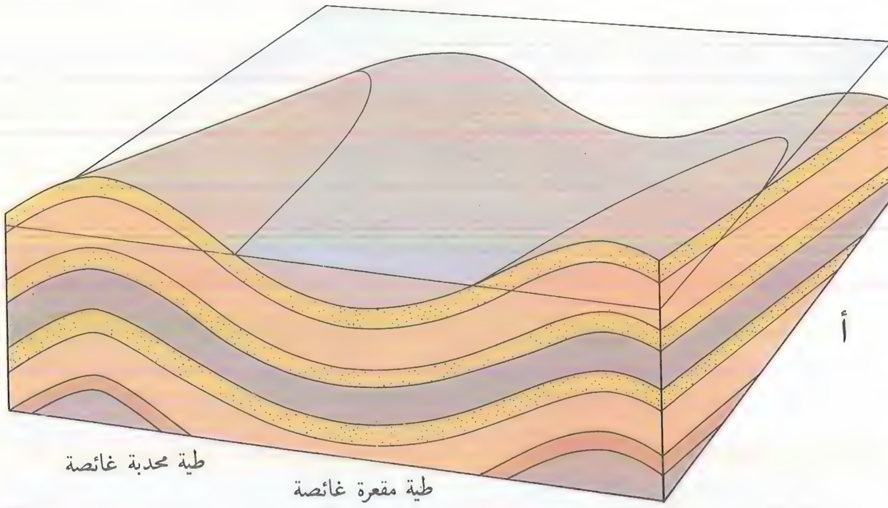
وتصنف هذه التراكيب بناء على اتجاهها، فبالامكان ان تكون متناظرة أو غير متناظرة أو مقلوبة اذا ما زاد ميلان احد جانبى الطية عن العمودى (شكل 18 ـ 7). وبامكان الطيّة المقلوبة ان تكون مضطجعة على جانبها بحيث ان المستوى المار بمحور هذه الطية يكون أفقيا. وتوجد هذه الطيات المضطجعة بكثرة بجبال الألب حيث توجد دلائل تشير إلى دفع الطبقات المطوية لمسافة 50 كيلومترا فوق الطبقات المجاورة.

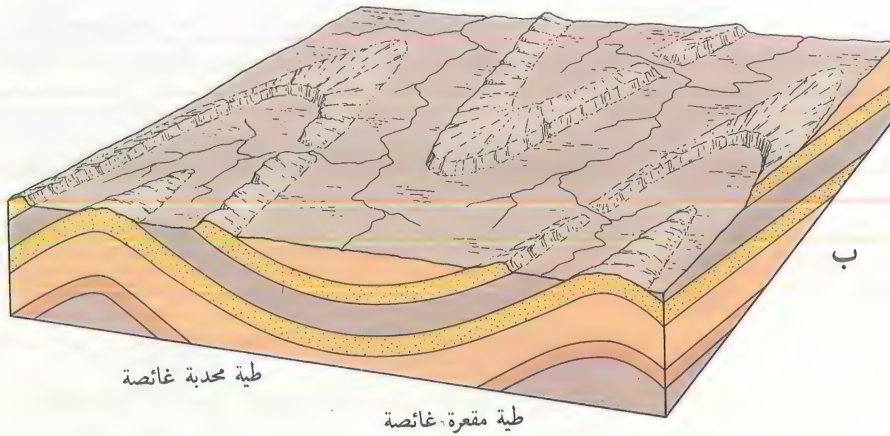
ولا تستمر هذه الطيات الى ما لا نهاية، فأطرافها تنتهى مثلما تنتهى التجعّدات فى القماش. وتوصف اطراف هذه الطيات بأنها غاطسة، حيث أن محورها غاطس الى الأرض (شكل 18 ـ 8). ويبين الشكل (18 ـ 9). الأمثلة عن



شكل 18 ـ 7
مجسم يبين الانواع الرئيسية للطيات.

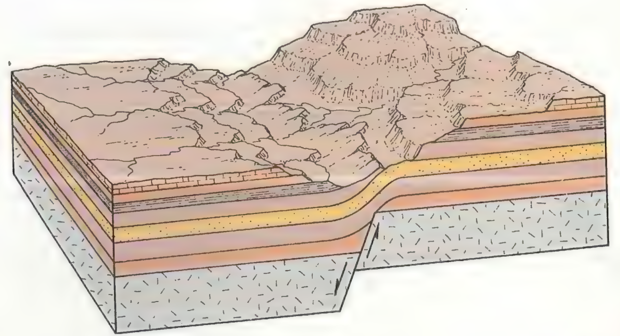
شكل 18 ـ 8
جبل الأغنام ويمثل طية محدبة غائصة الجانبين. لاحظ أن عوامل التعرية قطعت الطبقات الرسوبية المحيطة وحولتها الى تلال ذات ارتفاع بسيط بشكل حرف V اللاتينى متجهة ناحية غوص الطيات.





شكل 18 ـ 9
(أ) ـ طية محدبة غائصة.
طية مقعرة غائصة.
(ب) ـ طية محدبة غائصة.
طية مقعرة غائصة.

الطيات الغاطسة والانماط الناتجة عندما تزيح التعرية الطبقات العليا لهذه التركيبات كاشفة عما بداخلها. لاحظ ان نمط المتكشفات للحنيرات يتجه نحو اتجاه الغطس لهذه الطية فى حين أن عكس ذلك صحيحا بالنسبة للقعيرات. وبالرغم من أن معظم الطيات نتج عن الجهد الانضغاطى الذى يقوم بعصر الطبقات وتفتيتها، فان بعض الطيات جاءت نتيجة الازاحة العمودية للطبقات. وتسمى التكونات ذات الثنيات العريضة بالطية الآحادية الميل ويعتقد بأن هذه الطيات نتجت عن صدوع مائلة عموديا تقريبا لصخور القاعدة العميقة كما هو مبين بالشكل 18 ـ 10. وفى حين



شكل 18 ـ 10
طية أحادية الميل تحوى طبقات رسوبية مطوية بفعل التصدع فى الطبقات السفلى.

تشققت الصخور القاعدية الصلبة نتيجة للجهد العمودى فان الصخور الرسوبية المرنة نسبيا والموجودة الى اعلى من صخور القاعدة عمدت الى التشكل بالطى.

وقد تسبّب القبب العريضة بصخور القاعدة فى تشكل طبقات الصخور الرسوبية التى تعلوها لتكوّن طيات كبيرة. وعندما ينتج هذا التقبب تراكيب مستديرة أو طولية فان هذا الشكل يسمى بالقبة. أما التركيبات المطوية الى اسفل والتى لها نفس الشكل كالقبب فتسمى **الاحواض**. واحد هذه التراكيب المقببة هى المرتفعات السوداء والتى تقع بغربى ولاية داكوتا الجنوبية بالولايات المتحدة حيث عوامل التعرية عملت على نحت كل الطبقات الرسوبية غير المطوية مظهرة بذلك الصخور النارية والمتحولة القديمة والواقعة بالوسط . وعادة ما يتم التعرف على هذه الأحواض بواسطة الصخور المكونة لها. فأحدث الصخور توجد عند الوسط واقدمها عند الحواف وهذا عكس ترتيب المرتفعات السوداء المقببة حيث تكون اقدم الصخور لب هذا التركيب.

المضرب والميل

عند القيام بدراسة جيولوجية لأى منطقة، فان الجيولوجى يحاول أن يتعرف على التراكيب البارزة. وفى العديد من الحالات يكون التركيب كبير الحجم بحيث يمكن مشاهدة جزء صغير فقط منه عند اية نقطة. وفى مواقع اخرى تكون معظم التكشفات الصخرية مغطاة بالحشائش أو برسوبيات حديثة. وعليه فان التعرف على التركيب يتم بواسطة بعض التكشفات المحدودة العدد. وبالرغم من هذه الصعوبات، فهناك عدد من الطرق المستعملة للتخريط والتى تمكن الجيولوجيين من التعرف على اتجاه وشكل التراكيب الموجودة. وفى السنوات الأخيرة ساعد التقدم فى التصوير الجوى والفضائى على تقدم هذه الدراسات. ويتم التخريط بسهولة فى المناطق التى تتوفر فيها الطبقات الرسوبية المتكشفة. وحيث أن الرسوبيات تترسب عادة فى وضع افقى فان ميلان هذه الطبقات يدل على ان فترة التشكل قد حدثت بعُد الترسيب. هناك قراءتان تستعملان لمعرفة اتجاه التشكّل وهما **المضرب والميل**. والمضرب هو الاتجاه فى حين ان الميل هو قياس زاوية ميلان سطح الطبقة. وربما تكون اسهل طريقة لفهم هذه القياسات هى معاينة الصخور الرسوبية الظاهرة على سطح تضاريس مسطح (شكل 18 ـ 11).

ويعرف المضرب على انه اتجاه الخط الناتج عن تقاطع السطح الممثل للطبقات المائلة مع السطح الأفقى، والذى فى هذا المثال هو سطح الأرض. أما الميل، فيعرف بأنه زاوية الميل القصوى للطبقة مقاسة عموديا فى اتجاه عمودى على اتجاه المضرب. ويقيس الجيولوجيون بالحقل المضرب (الاتجاه) والميل (الانحناء) للطبقات كلما دعت الضرورة لذلك. وتدوّن هذه القياسات على خرائط طبوغرافية او على صور جوية بصحبة دليل ملون يصف الصخور. ومن اتجاهات الصخور بالامكان معرفة اتجاه وشكل التركيب كما هو مبين بالشكل 18 ـ 12. وباستعمال هذه البيانات يتمكن الجيولوجى من معرفة التركيب قبل تعريته. وكذلك استقراء التاريخ الجيولوجى للمنطقة بصورة أوضح.

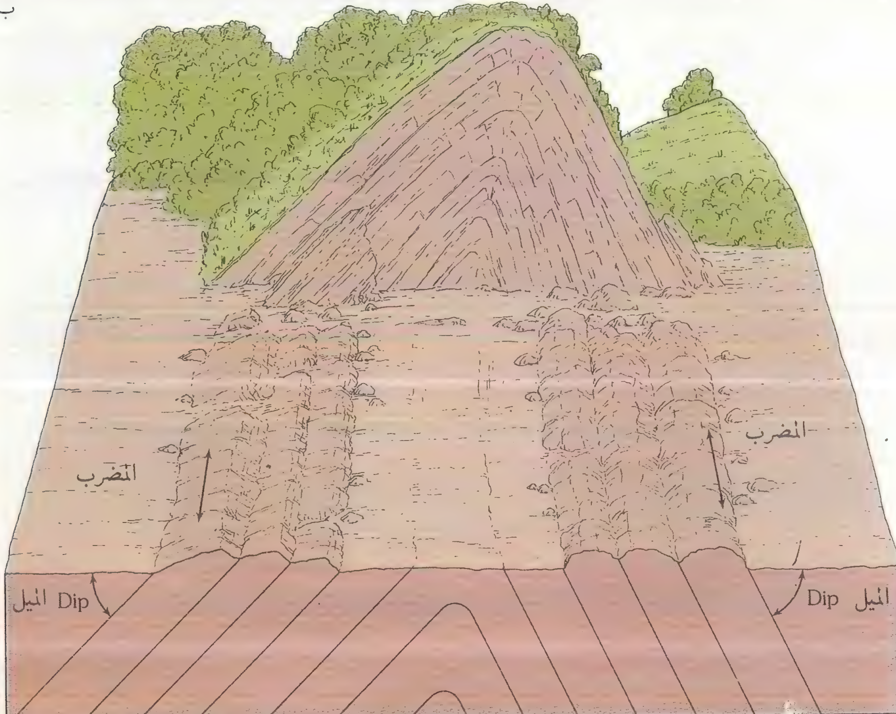
الصدوع

كما بينا فى نقاشنا للزلازل فان الصدوع عبارة عن تشققات فى القشرة الأرضية حدثت عليها تحركات ملموسة. وتقاس الصدوع بقيمة التحرك النسبى الذى يحدث بين القوالب الواقعة على جانبى سطح الصدع. وقد تكون الحركة افقية، أو عمودية أو مائلة. وتسمى الصدوع ذات الحركة المائلة **بصدوع الميل**، حيث أن الانفصال واقع مع اتجاه ميل سطح الصدع. وحيث أن الحركة فى صدع الميل يمكن ان تكون الى اعلى او الى اسفل من سطح الصدع فقد تم التعرف على نوعين من صدوع الميل. ولكى يتم التفريق بينهما فلقد اصبح مألوفا بأن تسمى الصخور الواقعة الى اعلى من سطح الصدع بالجدار المعلق والصخور التى اسفل بالجدار السفلى. ولقد انبثقت هذه التسميات من قبل عمال

المناجم والمستكشفين للقنوات المحفورة فى اتجاهات موازية لهذه الصدوع، والتى عادة ما تكون مواقع تتركز فيها الخامات المعدنية بواسطة المحاليل الساخنة. وخلال هذه العمليات، يمشى عمال المناجم على الصخور التى تحت الصدع (الجدار السفلى) ويعلقوا مصابيحهم على الصخور التى اعلى من الصدع (الجدار المعلق). وقد قسمت صدوع الميل الى الصدوع **العادية** حينما يكون الصخر الذى اعلى من مستوى الصدع (الجدار المعلق) يتحرك الى اسفل



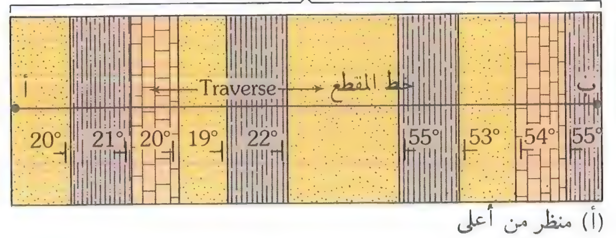
ب



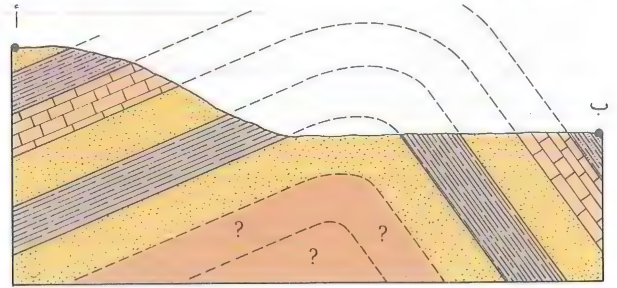
شكل 18 ـ 11
(أ) ـ صورة لطبقات رسوبية شديدة التشكل لتكون طية محدبة غير متماثلة متأثرة بفعل الانجراف.
(ب) ـ رسم لتلك الطية لتوضيح المضرب والميل.

بالنسبة الى الصخر الذى اسفل (الجدار السفلى) (شكل 18 ـ 13). اما الصدع **العكسى** فيحدث عندما يتحرك الجدار المعلق الى اعلى بالنسبة للجدار السفلى (شكل 18 ـ 14). والصدوع العكسية التى لها زوايا قليلة الميلان تسمى **الصدوع المندفعة**. وفى المناطق الجبلية مثل الألب والكورديليرا والأبالاش عمدت الصدوع الزاحفة الى نقل الطبقات الصخرية مسافات تصل الى 50 كيلومترا فوق الصخور المجاورة لها (شكل 18 ـ 15). ونتجت الصدوع الزاحفة من هذا النوع عن جهد تضاعفى قوى جدا. وفى العديد من الحالات يعتقد بأن الصدوع الزاحفة قد تكونت مصاحبة لطيات كبيرة مثلما هو مبين بالشكل 18 ـ 16.

وتسمى الصدوع التى تكون الازاحة فيها موازية لمضرب الصدع **بصدوع المضرب**. وتسمى الحركة بهذا الصدع بالجانبية اليمنى اذا كانت الكتلة المعاكسة للصدع



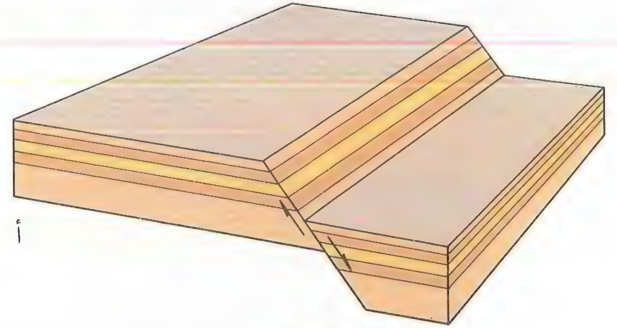
(أ) منظر من أعلى

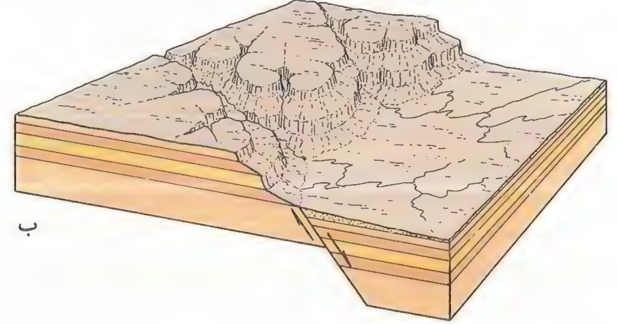


(ب) منظر مقطعى

شكل 18 ـ 12

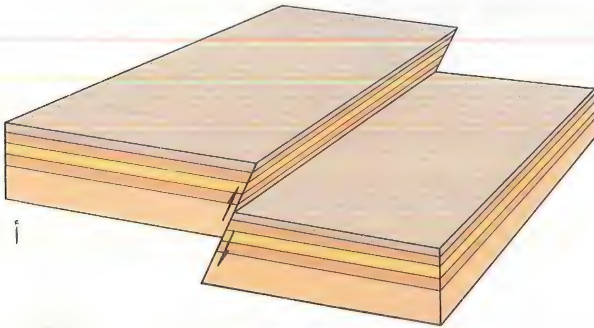
بالتعرف على المضرب والميل للطبقات المتكشفة (أ)، يستطيع الجيولوجى التعرف على التركيبات الصخرية تحت السطح (ب).

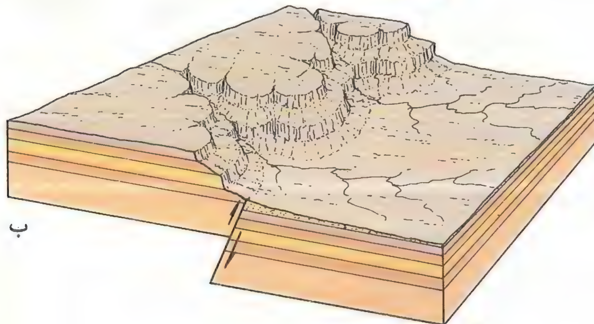




شكل 18 ـ 13

مجسم لصدع عادى. (أ) ـ الحركة النسبية للألواح المزاحة. (ب) ـ فعل التعرية فى اللوح المزاح الى اعلى.





شكل 18 ـ 14

مجسم لصدع عكسى. (أ) ـ الحركة النسبية للألواح المزاحة. (ب) ـ فعل التعرية فى اللوح المزاح الى اعلى.

تتحرك الى يمينك عند مقابلتك للصدع، وتسمى بالجانبية اليسرى اذا كانت تتحرك الى يسارك. وهناك العديد من صدوع المضرب الكبيرة مصاحبة لحدود الألواح وفى هذه الحالة يسمى الصدع **بالصدع التحويلى** ولدى الصدوع التحويلية ميلان قريب من العمودى وتربط عادة تركيبات كبيرة مثل اجزاء الشروخ المحيطة. وصدع سان اندرياس بكاليفورنيا مثلا معروفا بصدع تحويلى حيث الازاحة فيه تصل الى عدة مئات من الكيلومترات.

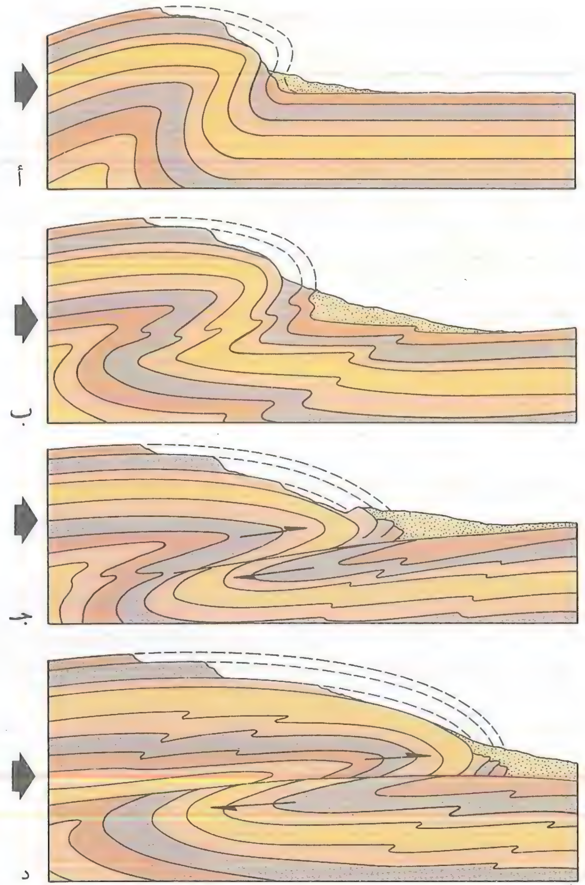
وعندما يجمع الصدع بين التحرك الافقى والعمودى يسمى **بالصدع الوترى** وحتى الآن فان الصدوع وصفت على انها مكاسر ذات مستوى واحد تمت الازاحة حوله. ومع ذلك فان معظم الصدوع الكبيرة تحتوى على نطاق من المكاسر المتوازية تقريبا تمت الازاحة على طولها.

وتمثل حركة الصدع وسيلة يعرف بها الجيولوجى طبيعة القوى الفاعلة بباطن الأرض. فالصدوع العادية تدل على قوى الشد التى تقوم بجذب القشرة بعيدا. ويتم هذا الشد



شكل 18 ـ 15

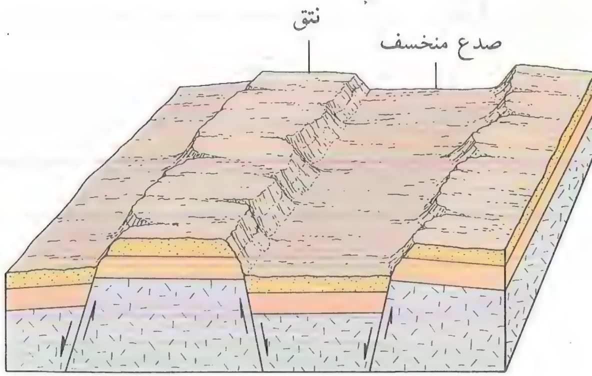
الفالق الاندفاعى بكى ستون. الصخور الجيرية القاتمة اللون ذات العمر الكمبرى صخور الرمل الجوراسية ذات اللون الفاتح.



شكل 18 ـ 16

مراحل تطور صفيحة فالق اندفاعي كنتاج للطي والتصدع الاندفاعي.

البعيد اما برفع الطبقات التى تعمد الى تمطط السطح ثم انكساره، او بفعل القوى الافقية التى تقوم فعلا بتحطيم القشرة الى أجزاء متباعدة. وتعرف الصدوع العادية عادة بالأوساط المنتشرة من القشرة الأرضية حيث تتباعد الالواح. وهنا فان القالب الأوسط المسمى **الخسفة** يكون محاطا بصدوع عادية تهوى الى اسفل عند تباعد الالواح (شكل 18 ـ 17). وهذه الخسفات تنتج وديان مستطيلة محاطة بتراكيب متفلقة الى اعلى تسمى **بالنتق**. ويتكوّن وادى الصدوع الاعظم بشرقى افريقيا من العديد من



شكل 18 ـ 17

رسم تخطيطي يوضح صدع نتقى وآخر منخسف.

الخسفات الضخمة تعلوها نتق مطوية مكونة جبالا طويلة. ويمتد هذا الوادى قرابة الستة آلاف كيلومتر، ويحتوى على مواقع مستحاثات لاقدم انسان على الأرض. وتشمل وديان الصدوع الاخرى، وادى الراين بألمانيا، ووادى البحر الميت بالمشرق العربى. وحيث ان الكتل الصخرية المعنية بالفوالق المندفعة والمعكوسة قد زحفت تجاه بعضها البعض، فلقد استنتج الجيولوجيون بأن قوى الانضغاط فى عمل دائب. ويعتقد بأن المناطق المبدئية لهذه الانشطة تقع بمواقع التقارب حيث تصطدم الالواح. وتسبب قوى الانضغاط عادة طيات وصدوع تنتج عنها زيادة فى سمك الطبقات المتأثرة وقصر فى امتدادها.

الفواصل

ضمن اهم الظواهر الشائعة للصخور المتكشفة شقوق تظهر عند سطح الأرض تسمى **بالفواصل**. وخلافا للصدوع فان الفواصل هى تشققات لم تنتج عنها ازاحة ظاهرة، وبالرغم من ان بعض هذه الفواصل تحدث عشوائيا الا ان معظمها يكون فى مجموعات متوازية.

ولقد تحدثنا سلفا عن نوعية الفواصل. حيث تعرفنا مسبقا على ان الفواصل العمودية تتكون عندما تبرد الصخور البركانية وتكوّن الشقوق الناتجة عن الانكماش، والتى ينتج

عنها تراكيب طولية عمودية الشكل. تذكر ايضا بأن التوريق ينتج فواصل منحنية نسبيا والتى تتكون عادة موازية لسطح المركبات البركانية الضخمة مثل الباثوليت. وهنا يعتقد بأن الفواصل تحدث عن تمدد الصخور التدريجى الناتج عن ازاحة الغطاء الصخرى لهذه الأجسام، بواسطة عوامل التعرية. وخلافا لما ذكر فان معظم الفواصل تنتج عندما تتشكل الصخور، وخاصة بفعل قوى الشد والانفصام المصاحبة لحركية القشرة الأرضية. فمثلا عندما يحدث الطى فان الصخور الواقعة عند محاور الطيات تقع تحت قوة الشد لتستطيل وتنتج فواصل شد. أما أنماط الفواصل الشائعة فقد تنتج عن حركة دقيقة للقشرة الأرضية مصاحبة لحركية بسيطة لهذه الطبقات. وتجدر الاشارة هنا الى انه فى العديد من الحالات لا تظهر العوامل المسببة للفواصل بسهولة. وتتكسر العديد من الصخور بفعل نسقين من الفواصل المتقاطعة التى تشرّح الصخور الى العديد من الكتل الصخرية المنتظمة الاشكال. وهذه الفواصل بمجموعاتها المختلفة غالبا ما تنتج تأثيرات ايجابية على المراحل الجيولوجية الموالية. فمثلا تتركز التجوية الكيميائية حول الفواصل، وفى كثير من المناطق تتحرك المياه الجوفية مكونة الفجوات الأرضية بالصخور القابلة للذوبان حول اتجاهات الفواصل. اضافة لذلك فان نظام الفواصل قد يوجه مسار مجرى مائى. وما نظام الصرف المتعامد الذى وصف بالباب التاسع الا مثال لذلك.

أنماط الجبال

بالرغم من إستحالة وجود جبلين متماثلين بالضبط، الا ان تقسيم الجبال يتم بناء على خصائصها الظاهرة جدا. ومن هذا المنطلق يمكن التعرف على اربعة أنواع من الجبال: (1) الجبال المطوية (الجبال المركبة)، (2) الجبال البركانية، (3) جبال الكتل الصدعية، (4) الجبال المقببة. (شكل 18 - 18).

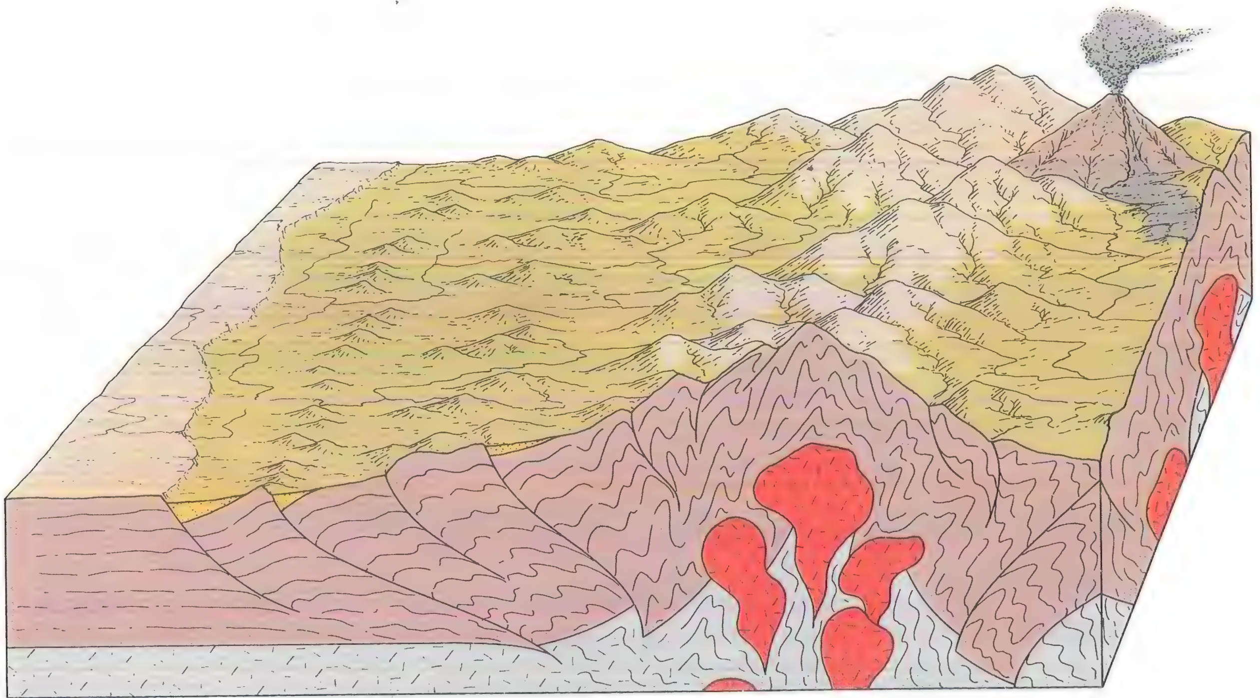
وتقع السلاسل الجبلية المتشابهة عادة فى مناطق متقاربة مكونة انظمة جبلية. فمثلا تتكون معظم منطقة نيفادا شمال امريكا من العديد من الجبال الصدعية تفصلها احواض تركيبية. ضف الى ذلك فبكل حزام جبلى سلاسل جبلية يمكن أن تمثل كل من هذه المجموعات المذكورة أعلاه.

واضافة الى هذه الاختلافات الاساسية فانه فى بعض المناطق تتكون التضاريس المعبرة عن الجبال بدون تشكل كبير فى القشرة الأرضية. فمثلا السفوح المرتفعة والمكونة من صخور عالية وغير مائلة، قد تقطع لتكوّن تضاريس وعرة. فبالرغم من ان هذه المناطق العالية لها تضاريس تشبه الجبال، الا انها تفتقر للتركيبات المصاحبة لعمليات البناء الجبلى. وقد يحدث عكس ذلك تماما. فمثلا تلك الأجزاء الواقعة بالشق الشرقى من جبال الأبالاش تمثل تضاريسا تكاد تكون مسطحة شبيهة بتضاريس جوف القارة. ومع ذلك فانها تتكون من صخور مقلوبة ومتحولة مما يجعلها جزءا من جبال الأبالاش.

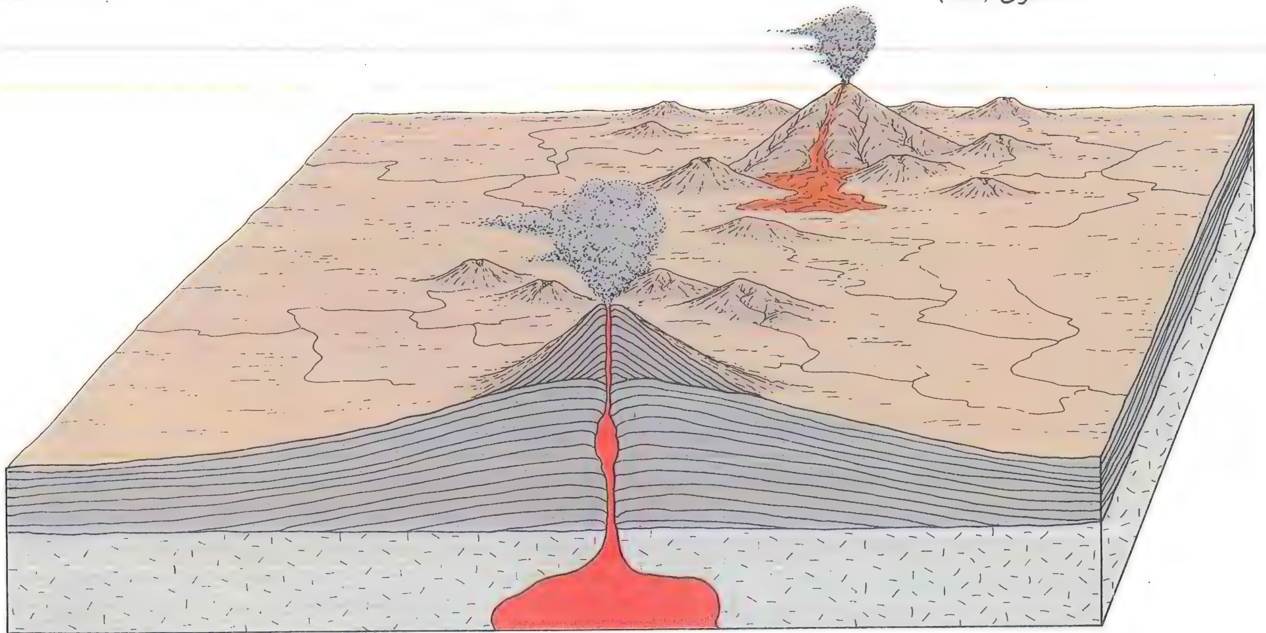
وفى الأجزاء اللاحقة سنتفحص ثلاثة انواع من واقع اربعة من الجبال. اما الجبال البركانية فقد تمت دراستها باستفاضة بالباب الرابع.

الجبال المطوية

تكوِّن **الجبال المطوية** اكبر واكثر انواع الجبال تعقيدا. وبالرغم من ان الطى هو الظاهر للعيان، الا ان الصدوع، والتحول والنشاط البركانى متواجدة دائما وبدرجات متفاوتة بهذه الجبال (شكل 18 - 18 أ)، وكل الانظمة الجبلية الكبرى، مثل الألب، الاورال والهيمالايا والابالاش تندرج تحت هذا النوع. وحيث أن الجبال المطوية تمثل معظم الجبال الكبرى فى العالم، فان مراحل البناء الجبلى عادة ما توصف بطرق تكونها. وعليه فلقد افردنا جزءا من نشوء الجبال لوصف تطور هذا النمط من الجبال الشاهقة والمعقدة.



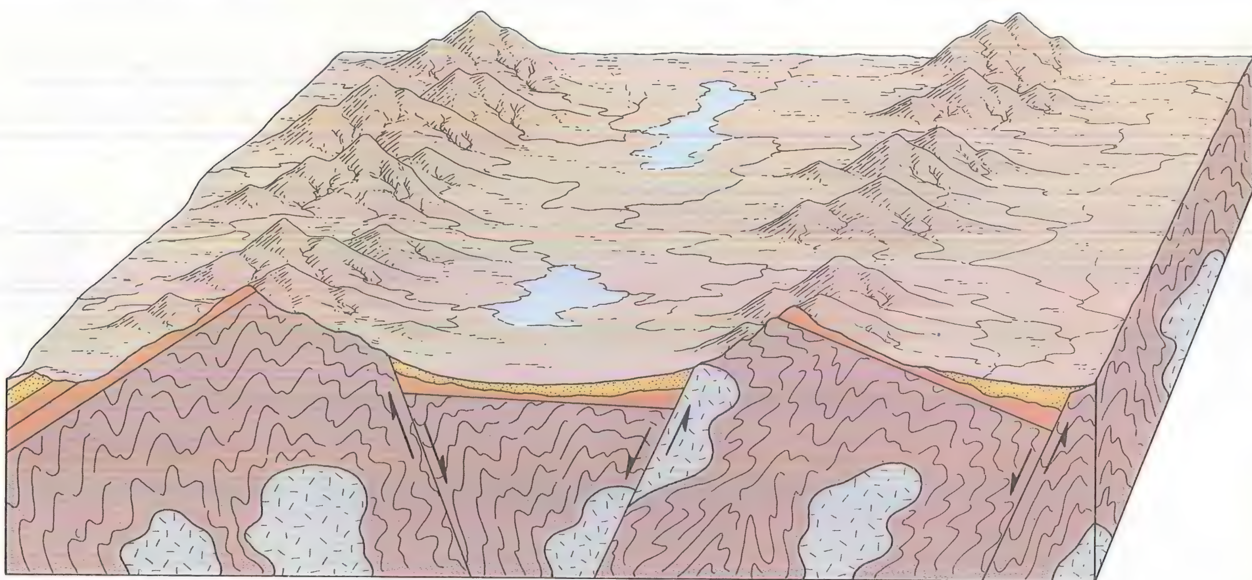
(أ) ـ مطوي (معقد)



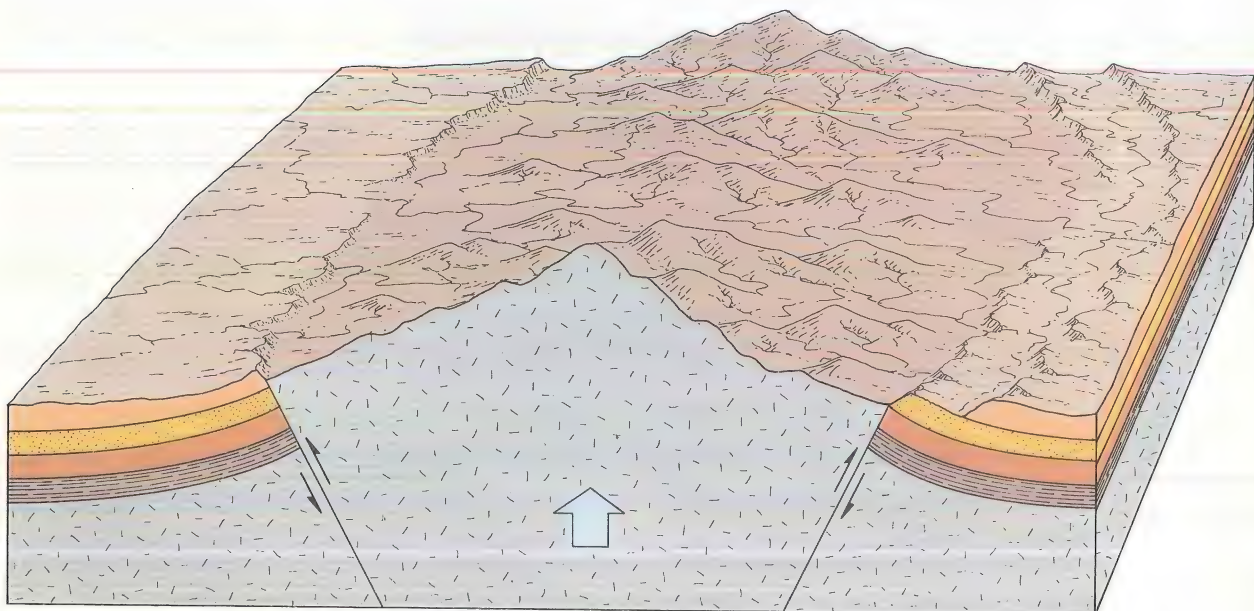
(ب) ـ بركاني

شكل 18 ـ 18

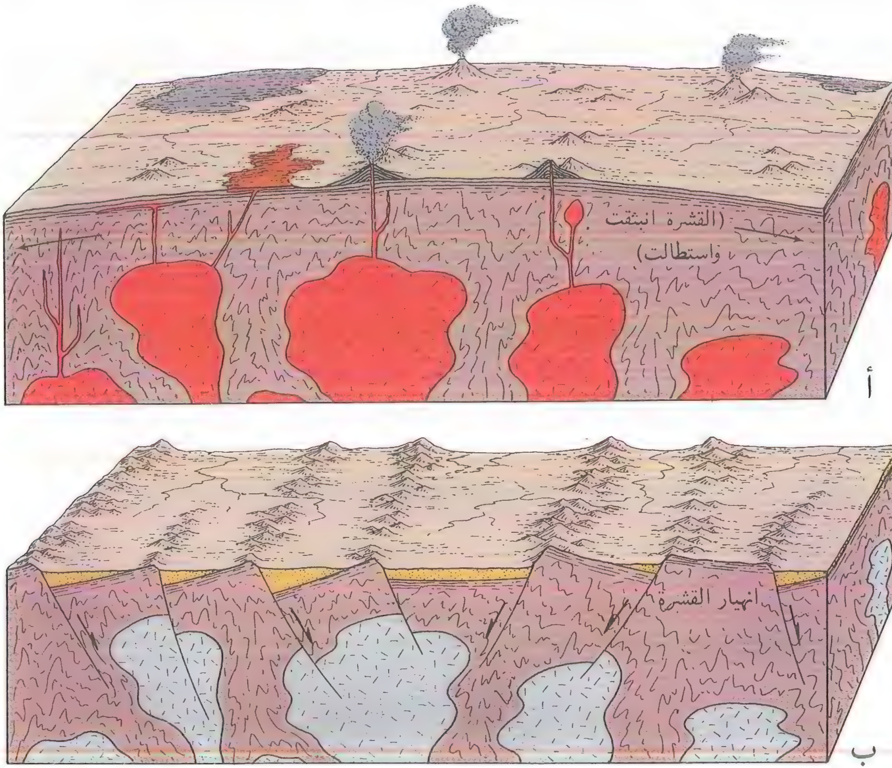
تصنيف الجبال. (أ) ـ الجبال المطوية (مركبة). (ب) ـ الجبال البركانية. (جـ) ـ جبال قوالب الصدوع. (د) ـ الجبال المنبثقة.



(جـ) ـ قالب صدعى



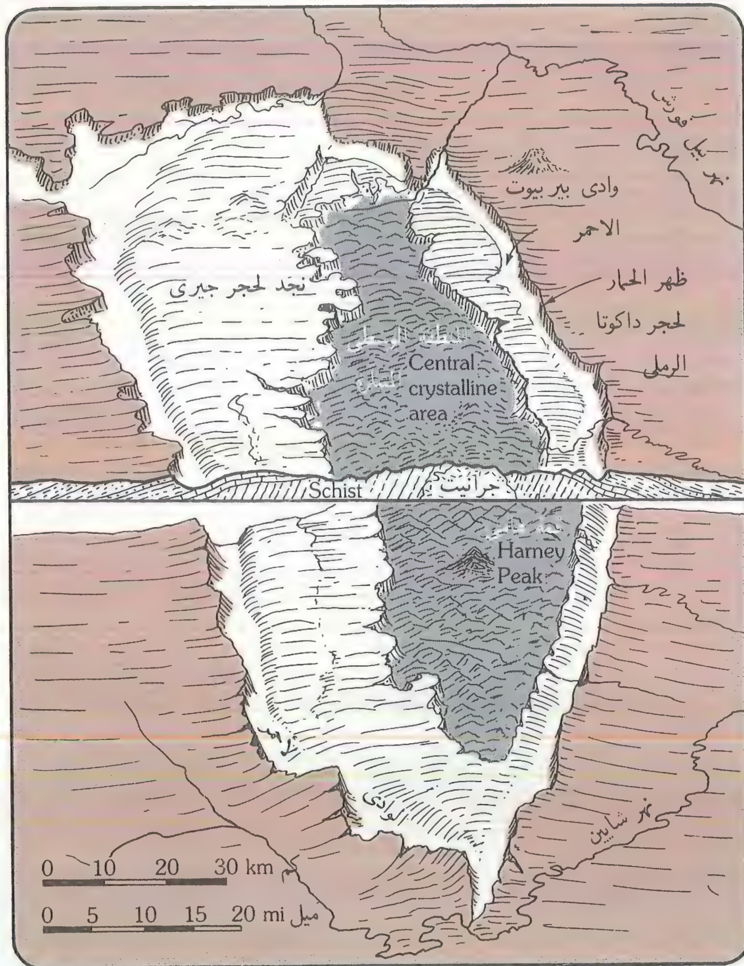
(د) ـ منبثقة



شكل 18 ـ 19
تكون تركيبات قوالب الصدوع فى منطقة الأحواض والمرتفعات. (أ) ـ ينتج عن توضع الصهير فى القشرة انبثاق للقشرة واندفاع لكميات هائلة من المواد البركانية. (ب) ـ وعندما تنتهى مرحلة التصهر تنهار القشرة عند تبريدها على امتداد عدة صدوع عادية زواياها عالية.

جبال قوالب الصدوع

يحد **جبال قوالب الصدوع**، على الأقل من جانب واحد، فوالق عادية بزاوية مرتفعة (شكل 18 ـ 18 جـ). تذكر ان قوى الشد هى المسئولة عن تكوّن الفوالق العادية. وقد تتكون بعض جبال الفوالق نتيجة لعملية رفع متسعة والتى ينتج عنها بالتالى عملية التصدع. ومثال ذلك قوالب الفوالق التى ترتفع على الجوانب المنخسفة من وديان التصدع بشرق افريقيا. ويبدو أن جبال قوالب الفوالق تتكون ايضا عند ارتفاع قوالب منفصلة عموديا فوق مجارى الأودية المجاورة لها. وتوجد بمنطقة الحوض والسلاسل الجبلية بالولايات المتحدة مثال جيد لجبال قوالب الفوالق يطوِّق ولاية نيفادا وجزءا من ولايات يوتا ونيومكسيكو واريزونا وكاليفورنيا. فقد انشطرت الأرض هنا الى مئات الأجزاء لتكوّن سلاسل جبلية متوازية يبلغ معدل طولها حوالى 80 كيلومترا ترتفع بانحدار شديد فوق الاحواض الترسيبية المجاورة لها. وحيث أن تكون جبال قوالب الفوالق فى تلك المنطقة كان مصحوبا بالنشاط البركانى، فقد ساد الاعتقاد بأن عملية الرفع الواسع للقشرة الأرضية والتشقق الناجم عن قوى الشد قد حصل بفعل خاصية الطفوية للصهارة المتواجدة تحت السطح (شكل 18 ـ 19). ومع انتهاء مرحلة النشاط البركانى عمل الانخفاض فى درجة الحرارة والهبوط على امالة القوالب لوضعها الحالى. ويختلف بعض الجيولوجيين مع هذا الرأى، حيث يفضلون فرضية بديلة تقول بأن السبب يكمن فى التغيرات عند حافة اللوح على طول الساحل الغربى لأمريكا الشمالية. ويضيف هؤلاء بأن التغيرات فى الحركة عند الحافة قد تسببت فى التبدل فى



شكل 18 ـ 20

النجود السوداء فى ولاية داكوتا الجنوبية، مثال من أمثلة الجبال المنبثقة حيث تكشف اللب النارى والمتحول المقاوم لعمليات التعرية.

القوى المؤثرة على المنطقة وذلك من الانضغاط الى الشد. وقد امتدت من ثم قوى الشد الى صخور المنطقة وتسببت فى تصدعها. وقد نجم عن هذا بالتالى مرحلة من النشاط البركانى. وتختلف هذه الفرضية عن سابقتها فى قولها بأن النشاط البركانى فى المنطقة المذكورة لم يتسبب فى عمليات اعادة التشكّل بالمنطقة بل كان نتاجا لها. وبغض النظر عن أى من هذين التفسيرين اصوب أو ان كلاهما جانبه الصواب فان هناك اتفاق عام بأن جبال قوالب الفوالق هناك قد تكونت بفعل قوى الشد. وعندما يقال بأن سلسلة جبلية معينة قد تكونت بفعل قوالب الفوالق فهى اشارة الى الحادثات المسئولة عن تشكيل الطبوغرافية الحالية.

وعادة ما تكون صخور القوالب المرفوعة شواهد على عمليات تشكيل سابقة. فمثلا طبوغرافية الحوض والسلاسل الجبلية غربى امريكا الشمالية المذكورة اعلاه، قد بدأت فى التكون منذ حوالى 15 مليون سنة مضت. غير ان هذه الصخور قد مرت بمرحلة اخرى من بناء الجبال اثناء دهر الحياة المتوسطة المتأخر ودهر الحياة الحديثة الباكر. فأثناء تلك المرحلة عملت النشاطات النارية والصدوع الاندفاعية على

اعادة تشكيل الصخور الرسوبية بالمنطقة ـ وقد عملت التعرية على تآكل الجبال التى تكونت نتيجة لذلك النشاط وذلك مثل تكون جبال قوالب الفوالق.

الجبال المنبثقة

ربما تكون **الجبال المنبثقة** من أكثر انماط الجبال تباينا. فالبعض منها يتكون من صخور تحتية قديمة سبق وان سوتها التعرية ثم كستها فيما بعد الصخور الرسوبية، ثم رفعت لتأكل التعرية هذا الغطاء الرسوبى تاركة اللب من الصخور النارية والمتحولة مرتفعة فوق المناطق المحيطة بها (شكل 18 ـ 20). ومن الأمثلة الأخرى للجبال المنبثقة تلك التى توجد بأمريكا الشمالية فى وسط وجنوب سلسلة جبال الروكى. وتختلف هذه اختلافا كبيرا فى تركيبها عن جبال الروكى الشمالية، بما فيها الجانب الكندى. وتتكون الأخيرة من تتابع سميك للصخور الرسوبية والتى سبق وان اعيد تشكيلها بواسطة الطى والتصدع الاندفاعى ذى الزاوية المنخفضة. أما الروكى الجنوبية فقد اندفعت الى اعلى عموديا تقريبا كجزء من انبثاق عريض للقشرة أو فى بعض الاحيان نتيجة للازاحة على طول الصدوع ذات الزوايا العالية. وبصورة عامة تتكون هذه الجبال من صخور القاعدة التى تنتمى الى ما قبل الكمبرى تغطيها طبقات غير سميكة نسبيا من صخور ما قبل الكمبرى احدث عمرا، أو تنتمى الى دهر الحياة القديمة. غير ان معظم هذا الغطاء الرسوبى قد ازاحته التعرية من اعالى القوالب المرفوعة وذلك منذ زمن اعادة التشكل مميطا اللثام عن اللب لما قبل الكمبرى. وفى كثير من المناطق يمكن رؤية بقايا هذه الطبقات الرسوبية تحيط باللب المتبلر للسلاسل الجبلية. ويمكن التعرف عليها بسهولة من خلال المرتفعات المزواة البارزة التى تشكلها الطبقات المثنية الى اعلى والتى تسمى **ظهر الحمار** (شكل 18 ـ 21).



شكل 18 ـ 21

منظر اتجاه الشمال على امتداد الجانب الشرقى لسلسلة الواجهة الجبلية لجبال الروكى بكولورادو. فقد غطت فى يوم ما بقايا الطبقات المقلوبة الرسوبية (التى تظهر فى وسط الصورة) مناطق الصخور النارية والمتحولة التى تقع الى الغرب.

وتشمل امثلة لب ما قبل الكمبرى عددا من التكشفات الجرانيتية التى تبرز كقمم جبلية كالتى توجد بسلسلة جبال كولورادو. ويعتقد بأن بروزات شرقى جبال الروكى قد تكونت استجابة لقوى الضغط الناجم عن امتطاء قارة امريكا الشمالية لجزء من اللوح المحيطى المجاور.

بناء الجبال

لقد حدثت عمليات نشوء الجبال فى التاريخ الجيولوجى الحديث بعدة مواقع حول العالم. وتشمل هذه الأحزمة الجبلية الحديثة الكورديليرا الأمريكية والتى تمتد على طول الحافة الغربية للأمريكيتين من مضيق مجلان الى الاسكا، وسلسلة الالب ـ الهيمالايا التى تمتد من البحر المتوسط عبر ايران الى شمال الهند والهند الصينية وكذلك المناطق الجبلية غربى المحيط الهادى. وهى تشمل اقواس الجزر الناضجة مثل اليابان والفلبين وسومطرة (شكل 18 ـ 22 أ). ومعظم هذه الأحزمة الجبلية الحديثة قد تكونت خلال المائة مليون سنة الماضية. وقد ابتدأ بعضها فى التكوّن، بما فى ذلك الهيمالايا فى مدة اقرب، لا تزيد عن 40 مليون سنة مضت. فبالاضافة الى هذه الجبال الحديثة المركبة، توجد سلاسل جبلية عديدة يرجع عمرها الى دهر ما قبل الكمبرى والدهر القديم. ورغم ان هذه التراكيب القديمة قد تعمقت فيها التعرية واصبحت ذات تضاريس متواضعة الا انها تمتلك نفس الملامح التركيبية التى توجد فى الجبال الأحدث عمرا، وتعتبر جبال الأبالاش بأمريكا الشمالية وجبال الأورال بالاتحاد السوفياتى نموذجين جيدين لهذه الجبال.

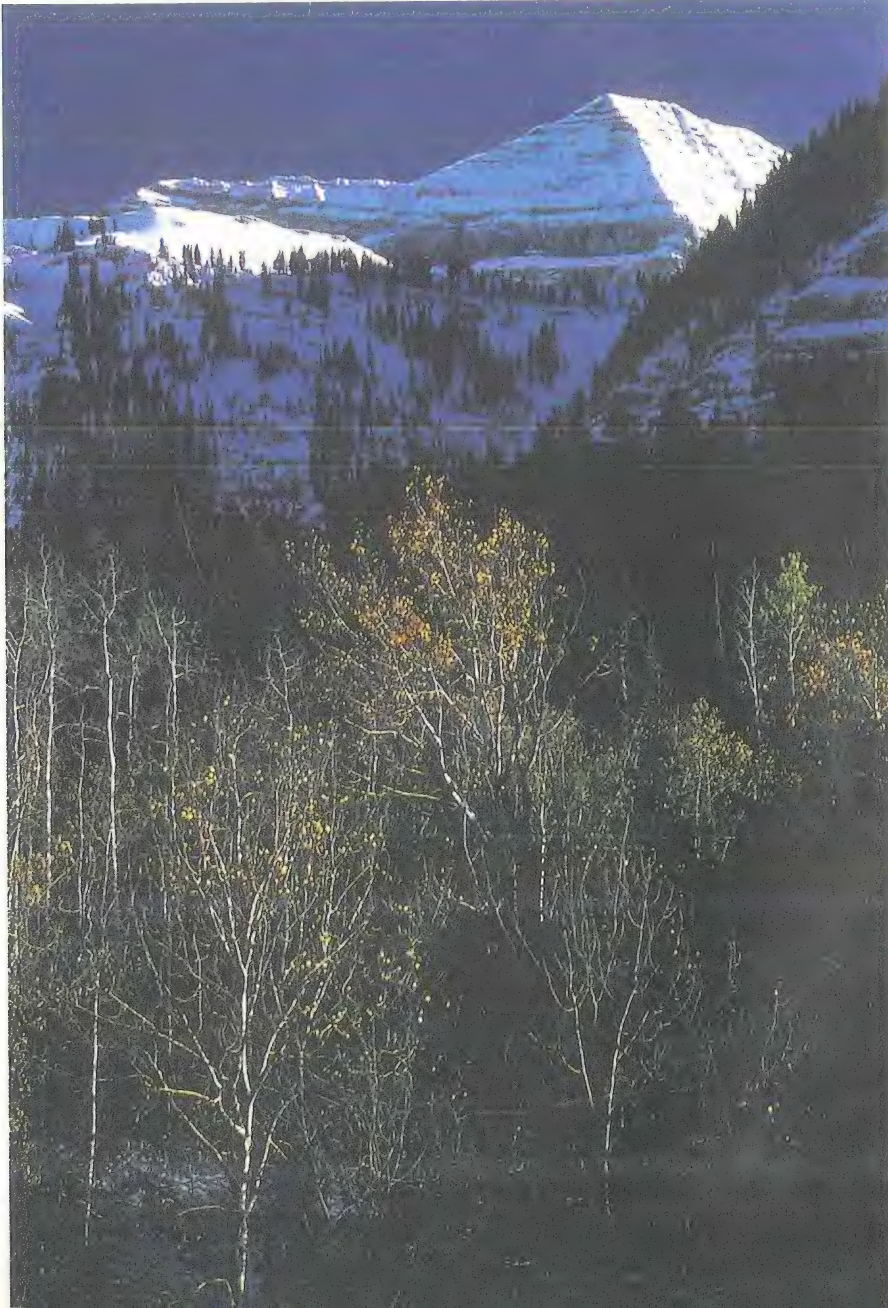
وتختلف الجبال المركبة عن بعضها فى تفاصيل معينة الا انها تمتلك نفس التراكيب الاساسية. وتتألف أحزمة بناء الجبال عادة من مرتفعات متوازية من الصخور الرسوبية والبركانية المطوية والمتصدعة التى تكون بعض اجزائها قد تحولت تحولا شديدا واقتحمت بأجسام نارية حديثة نوعا. وفى معظم الحالات تكون الصخور الرسوبية قد تراكمت فى بحار عميقة وقد زاد سمكها عن 15,000 متر وكذلك من صخور اقل سمكا تراكمت فى بحار ضحلة، وعلاوة على ذلك فلا بد ان تكون هذه الصخور المشكلة اكبر عمرا فى معظمها من حادثة بناء الجبال التى تضمنتها، مما يشير بالضرورة الى فترة غير قصيرة من التراكم الهادىء المتبوع بحادثة مفاجئة من الطى والتصدع.

وقد اتضح من الدراسات الدقيقة للمناطق الجبلية ان فترة بناء الجبال عادة ما تكون طويلة وقد تزيد فى بعض الاحيان عن 100 مليون سنة. هذا بالاضافة الى ان وضع تصور لاحداث الماضى قد دل على ان التشكّل غالبا ما يتقدم من المحيطات نحو اليابسة بحيث يتم تشكّل رسوبيات المياه العميقة أولا. ولقد تعرضت هذه الرواسب المكونة اساسا من الجراى واكى والفتات البركانى والصخور الطينية، الى درجات شديدة من الطى والتصدع والتحوّل وكانت كما لو وضعت بين فكى كماشة قوية بحيث انتقل فكها المتحرك من البحر فى اتجاه اليابسة. وبعد هذا التشكّل المبدئى تعمل عدة اقتحامات من الصهير على تشكل وتحول هذه الرسوبيات مكونة بذلك اللب النارى والمتحول للجبال الآخذة فى النمو وقد تسببت هذه الحادثات عادة فى زيادة سمك الصخور حيث نجم عن ذلك ارتفاعها فوق مستوى سطح البحر. وبينما يتم رفع وتشكّل اللب المتبلّر تنزاح رسوبيات المياه الضحلة فى اتجاه اليابسة داخل القارة، وخلال هذه الفترة الاخيرة، يتم طى وتصدّع صخور المياه الضحلة المكونة اساسا من الحجر الرملى النقى نوعا ومن الحجر الجيرى والحجر الطينى، وذلك على امتداد صدوع اندفاعية قليلة الميل لتنتج الجزء الرسوبى من الجبال المركبة.

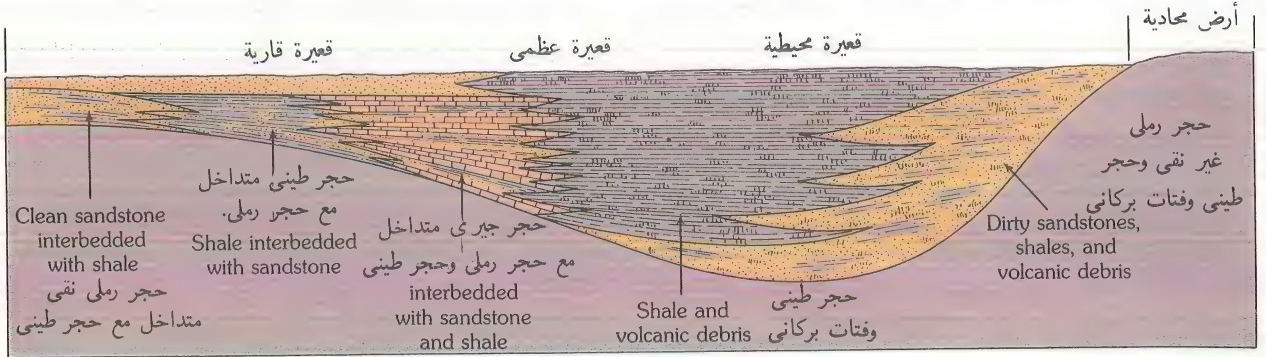
نظرية القعيرة العظمى

هناك عدة نظريات تتناول نشأة احزمة بناء الجبال. اذ يقترح افتراض قديم ان الجبال هى عبارة عن تجعدات فى القشرة الأرضية نتجت عن البرودة التدريجية للارض بعدما كانت فى حالة منصهرة. فعندما بردت الأرض وتقلصت

تشكلت القشرة لتناسب صغر الحجم الذى طرأ على الأرض، مثلما تتجعد قشرة البرتقالة عند جفافها. ولكن لم يقو هذا الافتراض ولا غيره من الافتراضات القديمة على الوقوف امام الامتحان. ففى تلك الفترة، قام العالم الجيولوجى المرموق جيمس هول سنة 1850 بدراسة للطبقات الرسوبية المشكلة لذلك الجزء من جبال الابالاش الواقعة فى ولاية نيويورك وحولها. وبعد فحص ملامح مثل مستحاثات المياه الضحلة، وعلامات النيم والتشققات الطينية، استنتج هول هذا السمك الهائل من الصخور الذى تراكم فى مياه لا يزيد عمقها عن عدة مئات من الامتار. ولكن كيف يصح ان يتراكم عمود صخرى سمكه 10,000 متر فى حوض لا يزيد عمقه عن عدة مئات من الامتار؟ ولكى يحسب حساب هذه التراكمات السميكة، اعتقد هول انها تراكمت فى منخفض رسوبى هائل يهبط ببطء. وحسب رأى هول، فان هذا



شكل 18 ـ 22
قمة شاهقة فى سلسلة جبال الواساتش بولاية يوتا. هذه السلسلة الجبلية هى جزء صغير من كورديليرا أمريكا الشمالية.



شكل 18 ـ 23

قطاع عرضى نموذجى خلال قعيرة ويظهر به صخور المياه الضحلة للقعيرة القارية وصخور المياه العميقة للقعيرة المحيطية.

المنخفض الرسوبى الطولى الذى سمى فيما بعد بالقعيرة العظمى قد هبط قاعه ببطء كاف لمواكبة تراكم الرسوبيات المستمر.

وبعد ربع قرن تقريبا، عمل جيمس دانا على التوسع فى تصور نظرية القعيرة. فقد افترض انه بعد تراكم سمك كبير من الرسوبيات تبدأ القوى الافقية الموجهة من الجانب المحيطى للقعيرة على ضغط الرسوبيات، اذ تعمل هذه القوى الضاغطة على تقليص القشرة وزيادة سمكها مما ينتج عنه نظام جبلى شاهق الارتفاع، بينما يتم ضغط معظم الرسوبيات الى اسفل فى اعماق الأرض. وبذلك تنشأ سلسلة مركبة من الصخور الرسوبية والبركانية التى اعتراها الطى والتصدع. وقد وجد الجيولوجيون انه يمكن تطبيق مبدأ القعيرة العظمى على نظم جبلية اخرى مركبة مع بعض التعديلات فيه. وبناء على هذه الدراسات وعلى تاريخ تطور جبال الابالاش، امكن وضع تصور للقعيرة العظمى على اساس انها تتألف من وحدتين متميزتين (شكل 18 ـ 23). الجزء الذى وصفه جيمس هول على انه يتألف من رسوبيات المياه الضحلة وهى حجر رملى نقى وحجر جيرى وحجر طينى، ترسبت جميعها فى منخفض طولى عرف فيما بعد **بالقعيرة القارية العظمى**، وفى اتجاه البحر من القعيرة القارية توجد **القعيرة المحيطية العظمى** حيث تراكمت رسوبيات المياه العميقة، وهذه تشمل الجراى واكى، وطفوح اللابة، والفتات البركانى والحجر الطينى.

ورغم ان لنظرية القعيرة العظمى لبناء الجبال محاسن عدة الا انها لم تأت بشرح للأسباب الكامنة وراء حركات بناء الجبال، وما الذى ادى الى هبوط القعيرة؟ لماذا تبقى الرسوبيات المتراكمة دون اى تأثير لملايين السنين ثم تمر فجأة بفترة من التشكل؟ ان مثل هذه الأسئلة التى لا تجد جوابا شافيا، قد ارغمت الجيولوجيين على الاستمرار فى تقييم المشكلة المعقدة لبناء الجبال. وبتطور نظرية حركية الالواح، امكن الاجابة على كثير من الاسئلة الشائكة المتعلقة بنظرية القعيرة العظمى.

وتقترح هذه النظرية الاحدث والاكثر قبولا من كل النظريات السابقة ان نشأة حركات بناء الجبال تعود الى ازاحة كتل ضخمة من الغلاف الصخرى وحسب نظرية تحرك الالواح يتم بناء الجبال عند الحواف المتقاربة للالواح. ففى هذه المواقع تعمل الالواح المتصادمة على احداث قوى

انضغاطية يتم بموجبها تفتت وتصدع وتحول تراكمات سميكة من الرسوبيات التى تتجمع على امتداد حواف اليابسة بينما يعمل انصهار القشرة المحيطة الغائصة على تغذية مصدر الصهير الذى يقتحم ويشكل هذه الرواسب.

لاحظ ان عملية بناء الجبال التى جاءت بها نظرية تحرك الالواح يجب ان ينظر اليها على انها امتداد مكمل للنظرية القعيرية لا لتحل محل الآراء السابقة. فمعظم المقدمات التى وضعتها النظرية القعيرية لا تزال قائمة، لانه قد تمت دراسة الاحداث التى ادت الى تكون سلاسل الجبال المعقدة قبل ظهور نظرية تحرك الالواح الى حيز الوجود. وقد تحقق للجيولوجيين فهم اوضح لاسباب حركات بناء الجبال.

ويتعلق احد التعديلات الهامة فى النظرية السابقة بموقع وطبيعة القعيرة العظمى. فبدلا من اعتبارها منخفضا طوليا ضخما يقع على المسطبة القارية المستقرة، يمكن اعتبارها مؤلفة من رسوبيات تقع على حواف القارات. ولذلك فانه يمكن اعتبار صخور القعيرة القارية العظمى مساوية لرسوبيات المياه الضحلة المتراكمة على الرف القارى. بينما يمكن اعتبار طبقات القعيرة المحيطية على انها تجمعات لرسوبيات المياه العميقة وفتات البراكين الذى ينشأ عند اقواس الجزر أو عند كتل قارية قريبة. ورغم ان بعض رسوبيات المياه العميقة كانت قد نقلت بواسطة تيارات العكر، فان معظم تراكمات القعيرة المحيطية العظمى تضاف الى حواف القارات على امتداد نطاقات الغوص حيث يتم كشط الرسوبيات من اللوح الغائص والتصاقها باللوح العلوى. وحيث ان كلا من تراكمات القعيرة القارية العظمى والقعيرة المحيطية العظمى تأخذان شكل تركيب دسرى فانه لا يزال يحتفظ بتسمية القعيرة القارية العظمى والقعيرة المحيطية.

حركات بناء الجبال عند حواف الالواح

المواقع الحالية لحركات بناء الجبال هى اقواس البراكين النشطة التى تمثلها جزر اليابان، وجبال الانديز بأمريكا الجنوبية. ورغم أن معظم اقواس الجزر البركانية متشابهة، فان نطاق الغوص اليابانى يقع عند التقاء لوحين غائصين بينما يقع قوس جبال الانديز حيث يصطدم الغلاف الصخرى القارى بالقشرة المحيطية. وتبعا لذلك تختلف عملية بناء الجبال فى تطورها فى كلا الموقعين. واحد الاسباب الاخرى لحركات بناء الجبال وهو الاهم، يقع حيث تتصادم كتلتان قاريتان، مما يزيد من درجة التشكل، وليس هذا فحسب بل يزيد من صعوبة الكشف عن تتابع الاحداث الجيولوجية. وسوف نتناول بالنقاش كلا من هذه المواقع لبناء الجبال فى الأجزاء التالية لهذا الفصل.

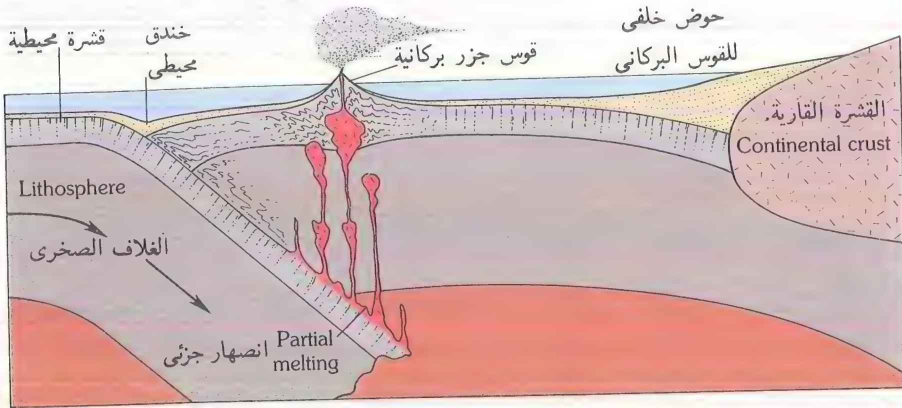
حركات بناء الجبال عند اقواس الجزر البركانية

تنشأ اقواس الجزر البركانية فى المواقع التى يلتقى فيها لوحان محيطيان بحيث يغوص احدهما تحت الآخر. كما يعمل الانصهار الجزئى للوح الغائص، وربما حرارة الاحتكاك لصخور الوشاح على تولّد كمية من الصهير الذى يصعد الى اعلى ليكوّن الجزء النارى من نظام الاقواس البركانية (شكل 18 ـ 24 أ). وعلى مدى فترة طويلة، تندفع عدة نشاطات بركانية تدعمها عملية طفو الكتل النارية المقتحمة لتزيد تدريجيا من حجم وارتفاع الاقواس الناشئة. كما يعمل هذا النمو على زيادة معدلات التعرية زيادة فعالة مما يؤدى الى زيادة كميات الرسوبيات المضافة الى قيعان البحار المجاورة والى الأحواض الواقعة خلف الأقواس البركانية.

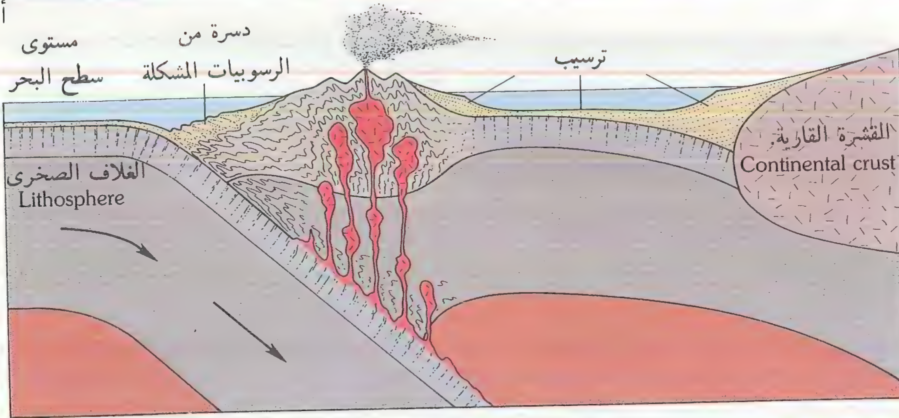
وبالاضافة الى الرسوبيات المستمدة من اليابسة، هناك رسوبيات المياه العميقة التى تكشط من اللوح المحيطى الغائص وتتراكم على جدار الخندق المحيطى الممتد من اليابسة. (شكل 18 ـ 24 ب). وتسببت القوى الضاغطة الناشئة عن تلاقى الالواح فى طى وتصدع هذه الرسوبيات مع القشور المحيطية المكشوطة من اللوح الغائص. ويعمل هذا النشاط على خلق كتلة سميكة من المواد المشكلة التى توازى الجزء النارى من الاقواس وتقع فى اتجاه البحر. ويسمى الخليط الناشىء عن الصخور الرسوبية والصخور

المتحولة والسنة قاع المحيطات **بالخلوط** . ويعتبر التحول المصاحب لعملية الخلوط من النوع عالى الضغط ـ منخفض الحرارة والذى يمثله مجموعة الشيست الأزرق (انظر الفصل السابع). ويمكن ان يسفر تراكم كهذا عن سمك يرتفع فوق مستوى سطح البحر.

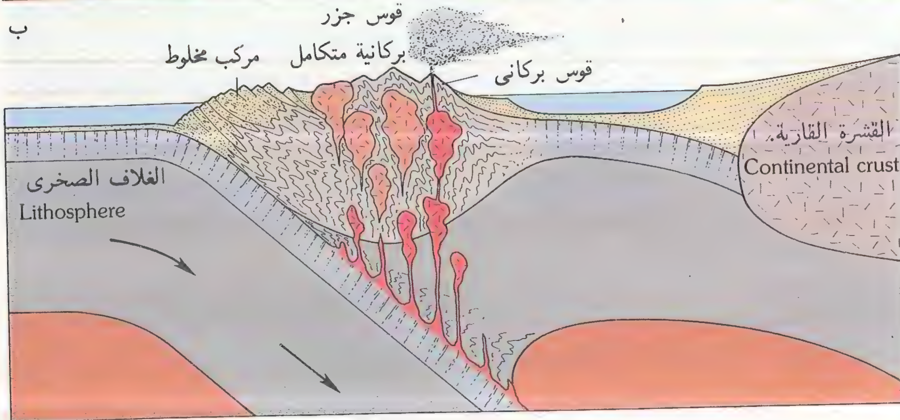
ففى منطقة الأقواس البركانية وفى اتجاه اليابسة من الخندق البحرى تتشكل الرسوبيات وتتحول بينما يتم تشكل الخلوط عن طريق الالواح المتقاربة. ويتم مصاحبا لذلك فى منطقة النشاط النارى، اقتحام اجسام ضخمة من الصهير مما يساعد على ارتفاع فى الحرارة يؤدى الى صخور شديدة



أ



ب



جـ

شكل 18 ـ 24

تطور مكتمل لقوس الجزر البركانية عند طرفين متقاربين للوحين محيطيين.

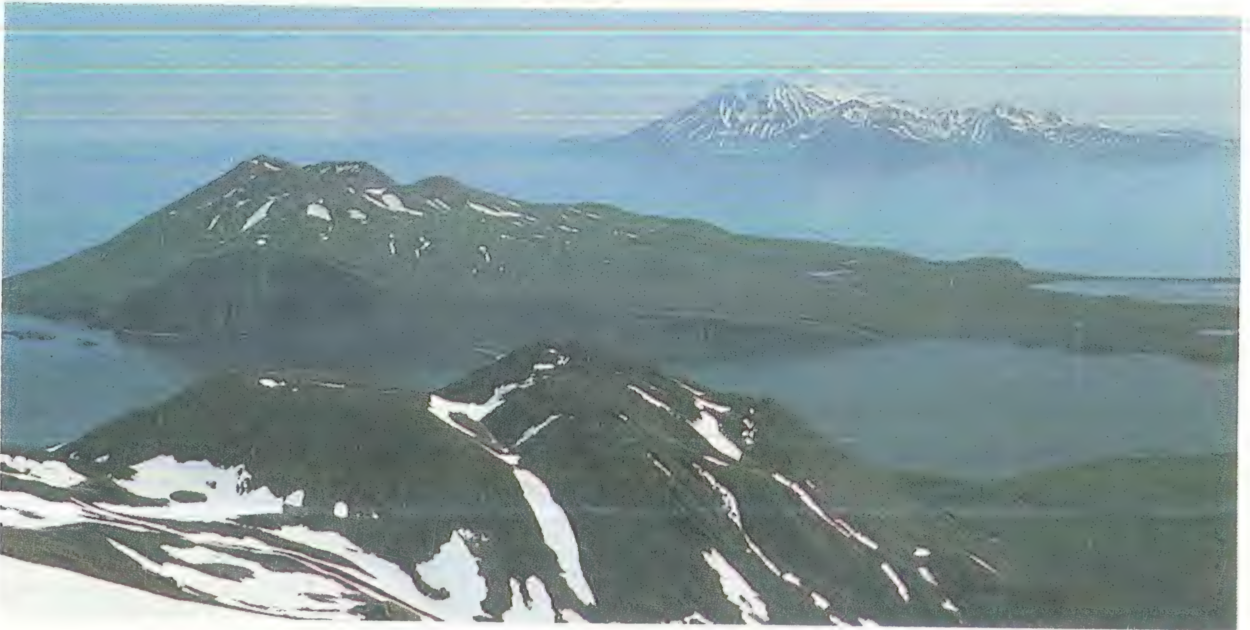
التحول كما تنعكس درجات التحول هذه فى المعادن الدالة على التحول الشديد.

ونتيجة لذلك يكتمل تطور القوس البركانى المؤلف من حزامين متوازيين من حركات نشوء الجبال (شكل 18 ـ 24 جـ). فالجزء المتصل باليابسة هو قوس الجزر البركانية المؤلف من أجسام كبيرة مقتحمة ممزوجة بصخور شديدة التحول ويقع فى اتجاه البحر من القوس البركانى مركب المخلوط المؤلف من صخور الرسوبيات والفتات البركانى المطوية والمتصدعة والمتحولة.

وقد ادرك الجيولوجيون منذ زمن قريب فقط اهمية اقواس الجزر البركانية فى عمليات بناء الجبال. (شكل 18 ـ 25). ومن المتفق عليه ان العمليات القائمة حاليا فى مواقع اقواس الجزر البركانية هى عبارة عن احدى مراحل تكون الاحزمة الجبلية. وفى الجزء التالى سوف نتعرض لحركات نشوء الجبال على امتداد الحواف القارية فى ضوء ما تعلمناه من اقواس الجزر البركانية.

حركات نشوء الجبال المصاحبة لعمليات الغوص على امتداد حواف القارات:

تتضمن عمليات بناء الجبال على امتداد حواف القارات تقارب لوح محيطى ولوح آخر تحتوى حافته على مواد مستمدة من القارة. وكما سبق ذكره فان هذا النوع من التقارب يؤدى الى تراكيب تشبه اقواس الجزر البركانية التى فى طور التكوين. ولكن تكون مركب خلوط القوس البركانى هو جزء من العملية المؤدية الى خلق نظام جبلى مثل جبال الانديز، ومن المعتقد بأنه تحدث اول مراحل تطور المركب الجبلى قبل نشوء نطاق الغوص. وتبقى حافة القارة خلال تلك الفترة دون نشاط. وهذا يعنى انها ليست حدا نهائيا للوح ولكنها جزء من نفس اللوح ككتلة من القشرة



شكل 18 ـ 25

ثلاثة من عدة براكين تؤلف القوس الأوليبيشى. ينتج حزام التبركن هذا من غوص لوح المحيط الهادى وفى خلف الصورة، يوجد بركان ستيسكن الكبير (الذى يرتفع 1772 مترا) الذى يسميه الأليوشيون المفرغ الكبير للأمعاء بسبب نشاطه المتكرر.

المحيطية المجاورة. ومن الأمثلة القائمة حاليا، منطقة الشواطىء الشرقية لامريكا الشمالية. وفى هذا الموقع كما هو فى مواقع اخرى هادئة تحيط بالمحيط الأطلسى، تتراكم الرسوبيات على الرف القارى مكونة طبقات سميكة (قعيرة قارية) من الحجر الرملى، والحجر الجيرى والحجر الطينى (شكل 18 ـ 26). وبعيدا عن الرف القارى، تعمل تيارات العكر (قوام كثيف من الطين والماء) على تراكم رسوبيات المياه العميقة (القعيرة المحيطية) على المنحدر والمرتفع القارى.

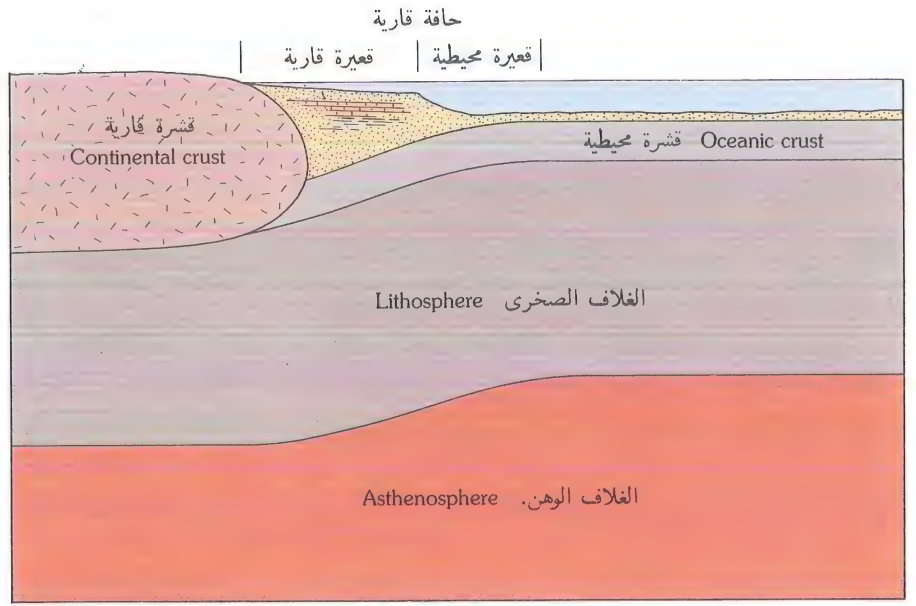
وفيما بعد، تصبح الحافة القارية نشطة وتتكون منطقة الغوص وتبدأ عمليات التشكل (شكل 18 ـ 26 ب). وسبب هذه الحادثة غير معروف، وقد اقترح بعض الجيولوجيين انه عندما يصبح سمك الرسوبيات كافيا، تنشطر القشرة المحيطة الغائصة من الكتلة القارية وتبدأ عملية الغوص. ولكن هذا الافتراض لا يتفق والحقيقة التى تؤكد ان معظم مناطق الغوص تقع الى البحر من الرسوبيات الاكثر سمكا.

والمكان المناسب لفحص حافة قارية نشطة هو الساحل الغربى لأمريكا الجنوبية حيث يغوص لوح النازكا تحت لوح امريكا الجنوبية على امتداد خندق شيلى والبيرو. وربما ظهرت منطقة الغوص هذه مصاحبة لانشطار القارة العملاقة بنجيا. وعندما انفصلت قارة امريكا الجنوبية عن افريقيا وانتقلت غربا، انثنت القشرة المحيطية بمحاذاة الساحل الغربى لأمريكا الجنوبية ودفعت تحت القشرة القارية، ولكن القشرة المحيطية لا تنصاع دون احداث اثر فى اللوح الذى يعلوها. وفى حالة امريكا الجنوبية هذه فقد تشكل لوح النازكا رسوبيات القعيرة القارية المتاخمة لحافة القارة منتجة الجزء المطوى والمتصدع لمركب النظام الجبلى والذى يعرف الآن بجبال الانديز الشرقية.

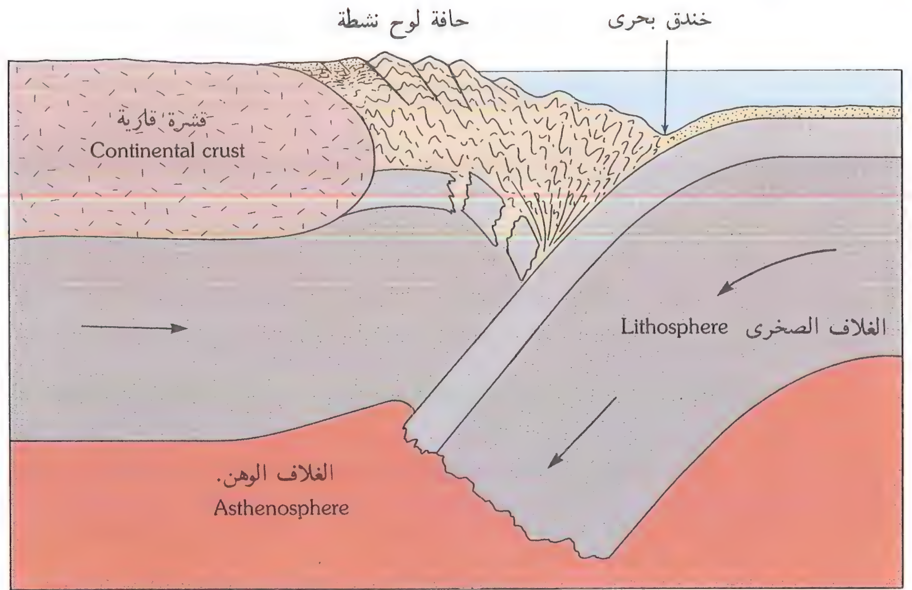
هذا وقد نشأت مرحلة اخرى من الغوص والانصهار الجزئى، الا وهى أقواس الجزر البركانية (شكل 18 ـ 26 جـ). وبما ان انفصال القشرة المحيطية عن القشرة القارية يتم فى اتجاه البحر من منطقة التصاقهما فان الاقواس البركانية تبعد غالبا عدة مئات من الكيلومترات الى البحر. اما أول جبل بركانى فى قوس جبال الانديز فقد تكون على ما يبدو فى اتجاه البحر من الشاطىء القديم وربما كان يشبه اقواس الجزر البركانية الواقعة فى غرب المحيط الهادىء. وعندما امتد اللوح الغائص شرقا تحت امريكا الجنوبية تعمق النشاط البركانى لجبال الانديز شرقا فى اليابسة بعيدا عن مواقع البراكين الاصلية والتى ازالت معظمها عوامل التعرية. وتشكل الباتوليتات المتكشفة ومناطق الصخور المتحولة المؤلفة لجبال الانديز المتبلّرة والتى توجد على امتداد الساحل الغربى لأمريكا الجنوبية، البقايا المتبقية من الاقواس البركانية الاصلية.

وخلال تطور اقواس الجزر البركانية تلتصق الرسوبيات المستمدة من اليابسة وكذلك تلك المكشوطة من اللوح الغائص على الجانب المتصل باليابسة من الخندق البحرى. تذكر ان هذا التراكم المتحول من الصخور ومن فتات القشرة المحيطية يسمى الخلوط (شكل 18 ـ 26 د).

واحسن امثلة على مركّب خلوط الاقواس البركانية يوجد فى غرب امريكا الشمالية ويشمل صحراء نيفادا وسلاسل الجبال الساحلية لولاية كاليفورنيا. اذ نتجت هذه الاحزمة الجبلية المتوازية عن طريق غوص جزء من لوح المحيط الهادى تحت الحافة الغربية للوح امريكا الشمالية. ويعتبر باثوليت صحراء نيفادا البقية المتبقية من اقواس الجزر البركانية التى كونها اندفاع الصهير خلال عشرات الملايين من السنين. وقد ازالت عمليات الرفع ثم التعرية التى اعقبت ذلك معظم العلامات الدالة على اى نشاط بركانى سابق وعملت على تكشف لب من الصخور المتبلّرة. وفى منطقة الخندق البحرى تعرضت الرسوبيات المتراكمة من اللوح الغائص وتلك التى انتجتها التعرية من اقواس الجزر البركانية الى الطى والتصدع مما كون الخلوط المركب الذى



(أ) ـ



(ب) ـ

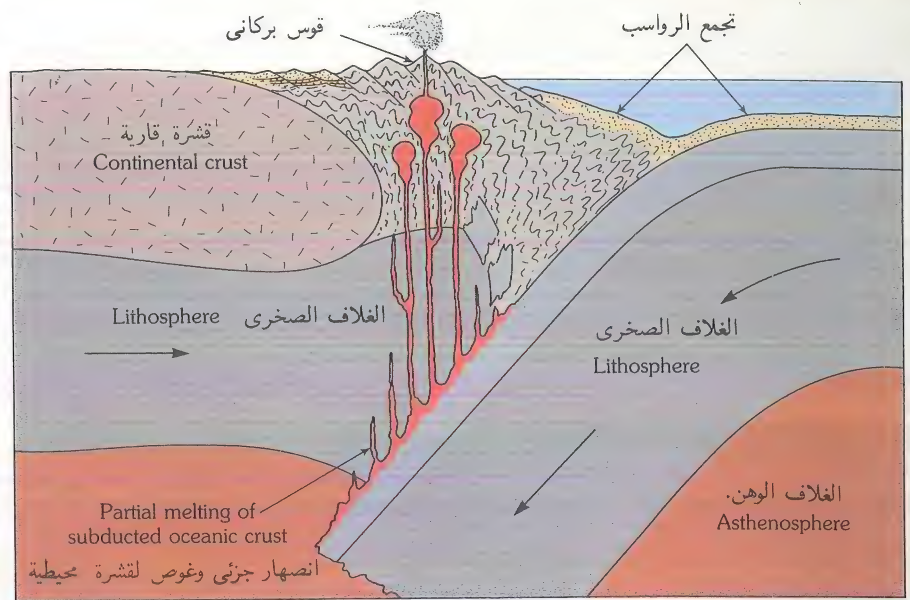
شكل 18 ـ 26

حركة رجية من نوع غوص الكتل المحيطية على امتداد حافة قارية نشطة. (أ) ـ حافة لوح هادئة.

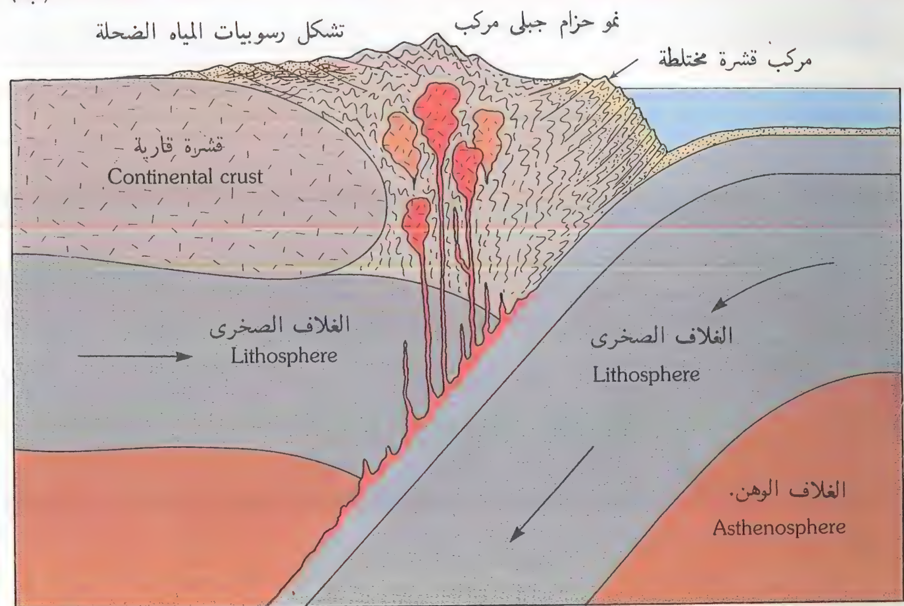
(ب) ـ يتسبب تقارب الالواح فى منطقة غوص.

(جـ) ـ يتسبب الانصهار الجزئى للوح الغائص فى قوس بركانى.

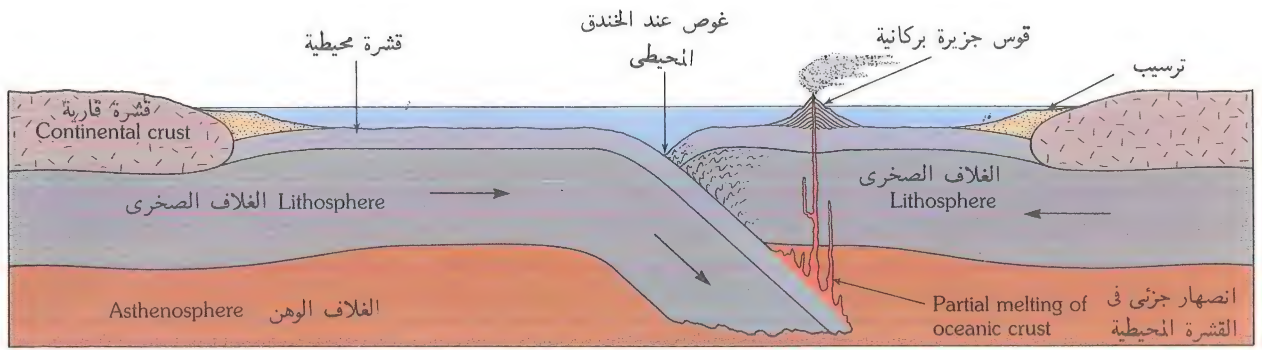
(د) ـ النمو المستمر لنظام جيلى مركب عن طريق التشكل لرسوبيات المياه الضحلة والعميقة.

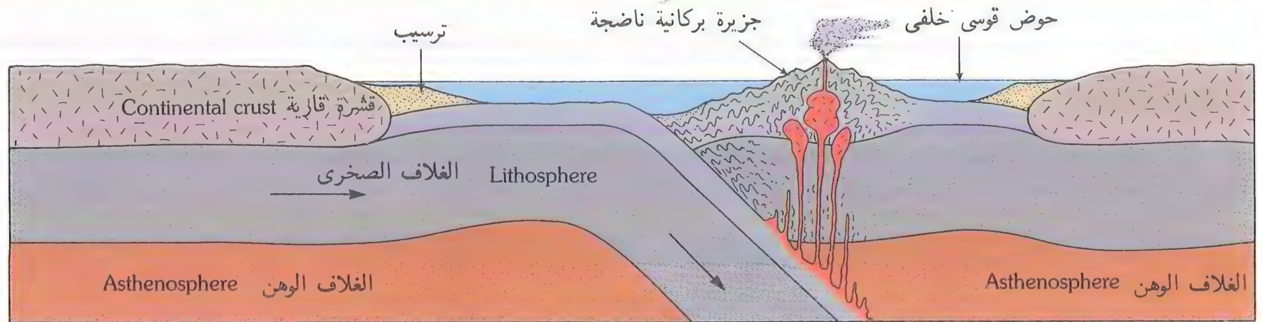

قوس بركانى
تجمع الرواسب
قشرة قارية
Continental crust
Lithosphere
الغلاف الصخرى
الغلاف الصخرى
Lithosphere
الغلاف الوهن
Asthenosphere
Partial melting of
subducted oceanic crust
انصهار جزئى وغوص لقشرة محيطية

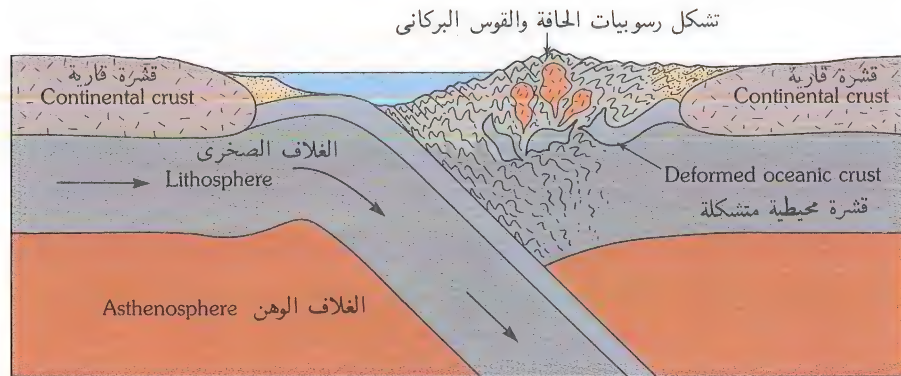
(جـ)

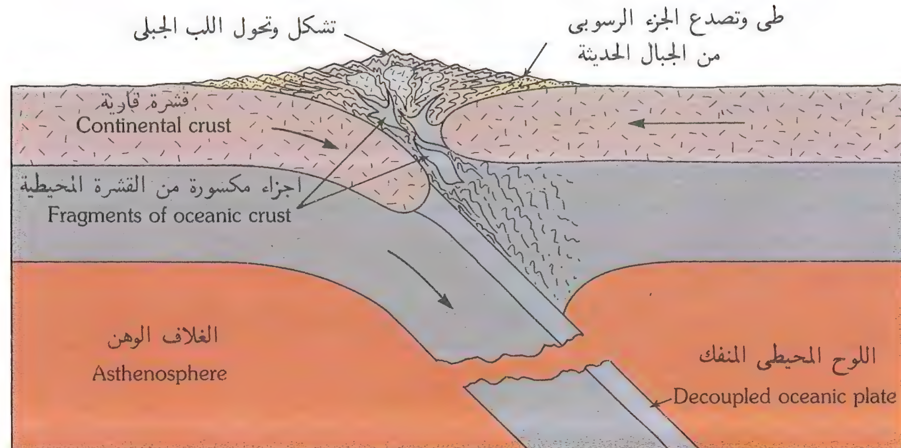

تشكل رسوبيات المياه الضحلة
نمو حزام جبلى مركب
مركب قشرة مختلطة
قشرة قارية
Continental crust
الغلاف الصخرى
Lithosphere
الغلاف الصخرى
Lithosphere
الغلاف الوهن
Asthenosphere

(د)









شكل 18 ـ 27

حركة الرج وتصادم القارات. (أ) ـ تتسبب الالواح المتقاربة فى منطقة غوص وفى نشأة تبركن لقوس الجزر. (ب) ـ تعمل الرواسب المكشوطة من اللوح الغائص مع النشاط النارى على زيادة حجم القوس البركانى. (جـ) ـ يعمل قفل الحوض الذى خلف قوس الجزر على تشكل رواسب الحافة القارية المحتبسة والقوس البركانى. (د) ـ يعمل التصادم القارى على غلق الحوض المحيطى مما يسبب زيادة التشكل والتحول فى الرسوبيات وفى الصخور البركانية.

يؤلف تكوين فرانسسكان فى السلسلة الساحلية لجبال كاليفورنيا. اما رفع السلسلة الساحلية فقد وقع حديثا كما يظهر من الرسوبيات غير المتصلبة التى لا زالت تغطى اجزاء من هذه الأراضى المرتفعة.

تصادم القارات

لقد تناولنا حتى الآن تكون احزمة نشوء الجبال حيث يحتوى احد الطرفين المتقاربين فقط على قشرة قارية. ولكن قد يحدث أن يحتوى كلا الطرفين المتصادمين على قشرة ارضية قارية. ونظرا لكون الغلاف الصخرى للقارات هو أخف من ان يغوص ولو قليلا فانه ينتج تصادم حتمى بين الكتل القارية (شكل 18 ـ 27). ومثال على ذلك ما حدث منذ حوالى 45 مليون سنة بين الهند وقارة آسيا. فالهند التى كانت جزءاً من قارة القطب الجنوبى، قد طفت لمسافة 5000 كيلومتر شمالا قبل ان يحدث الاصطدام، وتكونت، جبال الهيمالايا الشاهقة ومرتفعات التبت نتيجة لذلك. ورغم ان القشرة المحيطية التى كانت تفصلها قبل الاصطدام قد غاصت، فبعضها قد حشر مع الرواسب المتجمعة فى المناطق البحرية. ويمكن العثور عليها فى مرتفعات فوق مستوى سطح البحر. ومن المحتمل انه بعد هذا الاصطدام، سوف ينفصل اللوح المحيطى الغائص عن اللوح القارى المتماسك ويستمر فى غوص الى اسفل، اذ لا يزال مركز الانفراج الذى يفصل الهند عن قارة القطب الجنوبى والذى كان يحركها فى اتجاه الشمال لا يزال نشطا حتى الآن وبذلك يستمر فى دفع الهند نحو قارة آسيا بمعدل يبلغ بضع سنتيمترات فى السنة. ولكن العدد الكبير من الزلازل التى تم تسجيلها فى المنطقة البحرية جنوبى الهند يدل على ان هناك منطقة غوص جديدة آخذة فى التكوين. واذا كان الامر كذلك فان موقعا جديدا قد يتوفر لاستيعاب القشرة المحيطية لقاع المحيط الهندى والذى يتولد باستمرار عند مركز انفراج يقع الى الجنوب الغربى. واذا حدث ذلك فسوف ينتهى تحرك الهند نحو الشمال وبالمثل ينتهى نمو جبال الهيمالايا.

هذا ومن المؤكد ان صداما مماثلا اقدم عمرا قد حدث بين القارة الاوروبية والقارة الآسيوية مما نتج عنه تكون جبال الأورال التى تمتد فى اتجاه شمال جنوبى عبر الاتحاد السوفياتى.

وقبل اكتشاف نظرية حركية الالواح واجه الجيولوجيون صعوبات جمة فى تفسير سلاسل الجبال مثل جبال الأورال التى تتمركز بعيدا داخل القارات. اذ كيف يعقل ان تترسب آلاف الأمتار من الصخور البحرية ثم يعتريها الرفع والطى بينما هى تقع فى وسط كتلة اليابسة؟

هناك سلاسل جبلية اخرى بها ادلة على تصادم الكتل القارية هى جبال الألب وجبال الابالاش. اذ يعتقد بأن تكوّن جبال الألب كان نتيجة لتصادم قارة افريقيا مع القارة الأوروبية عند انغلاق بحر التيش (شكل 16 ـ 1). اذ تم خلال ذلك تعرّض كميات ضخمة من الرواسب الى الضغط فصارت طيات متراكبة، ثم ازيحت شمالا على شكل طبقات تركيبية اندفاعية. وقد انطوت هذه الرواسب بداخلها على فتات ممزق من القشرة المحيطية التى وقعت فى الحد الفاصل بين طرفى القارتين.

وقد كشفت التعرية فى جبال الألب كتلة الصخور شديدة التحول التى نتجت عن التصادم. ولكن كل الصخور النارية التى عادة ما تصاحب مناطق غوص الألواح المحيطية المحصورة فى الوسط بين الكتلتين القاريتين غير موجودة فى جبال الألب. وقد فسر غياب النشاط النارى فى جبال الألب على انه يمثل انغلاق حوض محيطى صغير.

أما جبال الابالاش الأقدم عمرا من جبال الألب فيعتقد بأنها تكونت نتيجة لتصادم بين كتلتى امريكا الشمالية وافريقيا. ورغم ان هاتين القارتين منفصلتان الآن الا انه يعتقد بأنهما كانتا متصلتين منذ ما يقل عن 200 مليون سنة كجزء من القارة العملاقة الموحدة بانجيا. ويعتقد الجيولوجيون بأن ذلك كان سببا فى تكون سلسلة من جبال كانت فى يوم ما شاهقة جدا. وتدل الدراسات التفصيلية على

ان حزام جبال الابالاش معقد بدرجة اكثر مما كان متصورا. فبدلا من تصادم واحد هناك ثلاثة حادثات تصادم خلال 250 مليون سنة تقريبا وتدل البيانات المتوفرة على ان كتلة قارية ضخمة قد انشطرت لتكون نواة القارة الأمريكية الشمالية ونواة القارة الافريقية، مع عدد من الكتل القارية الاقل حجما وذلك منذ حوالى 650 مليون سنة. وسوف يتم التعرض بالنقاش لهذه الكتل المسماة بالقارات الصغيرة فى الجزء التالى. فحركات نشوء الجبال التى تم بموجبها مولد جبال الابالاش قد انتهت باتحاد نواة قارة امريكا الشمالية ونواة قارة افريقيا مع كتل من القشرة القارية الاقل حجما.

وبينما بدأت الكتلتان القاريتان فى الاقتراب نشأت منطقة غوص فى المنطقة البحرية الواقعة أمام شمال نواة قارة امريكا الشمالية ونتج عن النشاط النارى المصاحب لعملية الغوص قوس جزر بركانية شبيهة بما يحدث اليوم على الحافة الغربية للمحيط الهادى. وتدل الدراسات فى جنوب جبال الابالاش، ان هناك قارة قزمية كانت تقع بين قوس الجزر البركانية واللوح القديم لأمريكا الشمالية. وقد ادى استمرار انغلاق نواة المحيط الاطلسى الشمالى الى تصادم هذه القارة القزمية مع امريكا الشمالية. وقد طوت وحولت حركة نشوء الجبال هذه الكتلة القزمية التى تم التعرف عليها فى الصخور البلورية لمنطقة بلوريدج وبيومنت بجبال الأبالاش.

وقد حدثت حركة نشوء اخرى منذ حوالى 380 مليون سنة بينما إنغلق الحوض المحيطى الواقع خلف الجزر البركانية فى حزام ولاية كارولينا والذى يقع مباشرة شرقى منطقة بيومنت.

أما الحركة الأخيرة فقد حدثت منذ حوالى 250 ـ 300 مليون سنة مضت عندما اصطدمت افريقيا بأمريكا الشمالية. وربما تسببت هذه الحادثة الأخيرة فى ازاحة الرواسب المتراكمة سالفا فى اتجاه الداخل على امتداد الصدوع الاندفاعية قليلة الميل. وربما زادت الازاحة الكلية فى بعض المواقع عن 250 كيلومترا وقد ادت هذه الازاحة فى اتجاه اليابسة ايضا الى إعادة تشكل رواسب الاحواض القارية العظمى التى كانت عند حواف امريكا الشمالية. وتشكل هذه الطبقات المطوية والمتصدعة لصخور الحجر الجيرى والحجر الرملى والحجر الطينى الصخور غير المتحولة لاقليم الوديان والتلال هناك.

وبعد التحام امريكا الشمالية وافريقيا بوقت قصير جيولوجيا بدأت القارة الملتحمة بانجيا فى الانقسام من جديد الى كتل اصغر حجما. وقد ادى الازدواج الناشىء عن الكتل الصغيرة والتعرية المستمرة لوقت طويل الى غمر مياه البحار للظلفة الشرقية لجبال الابالاش. وقد ادى الترسيب الذى حدث على هذه الحافة المغمورة فى النهاية الى تكون الكتلة السميكة من الصخور الرسوبية التى توجد حاليا على امتداد الشاطىء الشرقى للولايات المتحدة. فلو حدث ان انغلق المحيط الأطلسى مرة اخرى، فسوف تطوى الرواسب وتتحول الى جبال شاهقة واقعة فى اتجاه البحر من جبال الابالاش الحالية، وبذلك سوف تتم اضافة شريط من الارض اليابسة الجديدة الى القارة.

وباختصار يعتقد بأن نموذج حركات نشوء السلاسل الجبلية المركبة (والمتمثلة فى جبال الابالاش) كان كما يلى:

1 ـ بعد انقسام كتلة قارية تتجمع رزمة من الرواسب السميكة على امتداد الحواف القارية الهادئة مما يزيد فى حجم الكتلة القارية الجديدة.

2 ـ لاسباب لم تعرف بعد يبدأ الحوض الرسوبى بعد ذلك فى الانغلاق وتبدأ القارتان فى الاقتراب.

3 ـ ينتج عن اقتراب اللوحين القاريين غوص الكتلة المحيطية المتوسطة بينهما. وتبدأ فترة طويلة من النشاط النارى ينتج عنها تكون قوس جزر بركانية عادة ما يقع على بعد بضعة مئات من الكيلومترات فى اتجاه البحر من الشاطىء القديم.

4 ـ يضاف فتات تعرية اقواس الجزر البركانية وتعرية جبال

اليابسة مع الرواسب المكشوطة من اللوح الغائص، الى رزمة الرواسب على امتداد حافة القارة.

5 ـ يسبب زيادة الاقتراب فى انغلاق البحر الضيق الموجود خلف قوس الجزر البركانية، وتؤدى حركة نشوء الجبال هذه الى طى وتحول صخور ما خلف قوس الجزر البركانية والكتل البركانية المصاحبة لها (مواد القعيرة المحيطية العظمى) وكذلك القوس البركانى نفسه.

6 ـ وبالتالى تتصادم القارتان، وتؤدى هذه الحادثة وما يصاحبها من نشاط نارى الى الطى والتصدع والتحول فى الرواسب المحصورة وفى القوس البركانى لتنتج لباً بلورياً لحزام جبلى حديث. وبينما تندفع هذه الكتل المتصدعة فى اتجاه اليابسة، تطوى رواسب المياه الضحلة (رواسب القعيرة القارية العظمى) التى تكونت سابقا على الرف القارى وتزاح فى اتجاه اليابسة على امتداد صدوع اندفاعية قليلة الميل. وتبقى هذه الطبقات المطوية تماما دون تحول مكونة الجزء الرسوبى من النظام الجبلى المعقد.

7 ـ وفى النهاية، يتوقف نمو الحزام الجبلى بتغير فى طرف اللوح القارى، وعندها فقط تبدأ سيادة عمليات التعرية فى تشكيل الملامح السطحية. وبالاضافة الى الرواسب المنقولة فى اتجاه البحر، تتجمع كميات ضخمة من الرواسب الخشنة فى الوديان الجبلية وفى مناطق اخرى على اليابسة. وتعمل التعرية المستديمة بالاضافة الى التعديلات فى التوازن الى إنقاص سمك قشرة المناطق الجبلية حتى تقترب من سمك قشرة القارات. (انظر شكل 18 ـ 4).

وبالرغم من ان معدلات التغيّر فى الملامح الشكلية للقشرة الأرضية والظروف الجيولوجية والمناخية قد تباينت بين وقت وآخر فإنه يعتقد بأن هذا التسلسل للاحداث قد تكرر عدة مرات خلال الزمن الجيولوجى. وعليه فان تكوّن أى جبل يمثل حادثة فريدة فى نوعها.

حركات نشوء الجبال وتنامى القارات

يتضمن المقترح الاصلى لنظرية حركية الالواح طريقتين لبناء الجبال: الاولى هى افتراض تصادم القارات لتفسير تكون المناطق الجبلية، مثل جبال الألب والهيمالايا والأورال. والطريقة الثانية، التى تعتبر جبال الانديز نموذجاً لها، يكمن محركها التكتونى فى غوص القشرة المحيطية. ويعتقد بأن السلاسل الجبلية التى تطوق المحيط الهادى قد تكونت بهذه الطريقة.

وقد برهنت الدراسات الحديثة عن وجود طريقة ثالثة لبناء الجبال وذلك باقتراح ان الكتل القارية الصغيرة نسبيا تتصادم وتلتحم مع حافة القارات، وان عمليات التصادم والالتحام هى المسئولة عن نشأة عدد من المناطق الجبلية التى تلتف حول المحيط.

ما هى طبيعة الكتل الصغيرة للقشرة القارية؟ ومن اين أتت؟.

يعتقد الباحثون بأن هذه القطع القارية الصغيرة ربما كانت قارات صغيرة تواجدت قرب القارات الكبيرة قبل التحامها مثل جزيرة مالاقاش. وربما كان يوجد الكثير من مثيلاتها مغمورة تحت مستوى سطح البحر، ويمثلها فى الوقت الحاضر مسطحات مغمورة ترتفع فوق قاع المحيط الهادى الغربى (شكل 1 ـ11). ويعرف منها الآن ما يزيد على 100 مسطح محيطي. ومن المعتقد ان هذه المرتفعات كانت اصلا قطعا قارية مغمورة، او اقواسا بركانية او سلاسل بركانية مغمورة مصاحبة لنشاط البقع الساخنة.

واكثر الآراء قبولا فى الوقت الحاضر هو ان الالواح المحيطية عندما تتحرك تنقل معها المسطحات المحيطية او القارات الصغيرة الى منطقة الغوص. وهناك يتم كشط الأجزاء العليا للكتل السميكة من اللوح الغائص وتدفع على شكل صفائح قليلة السمك نسبيا فوق الكتل القارية المجاورة. وتزيد هذه المساحات الاضافية من سعة القارات



شكل 18 ـ 28

توجد هذه الصخور المتكشفة المسماة شوليتناتدرين فى الوسط الجنوبى للاسكا ويتكون من مجموعة متميزة من الصخور التى لا يوجد مثيل لها فى اى مكان آخر من امريكا الشمالية. تتألف الخطوط الغامقة والفاتحة الى اليسار من حجر جير (فاتح) ومن بازلت (غامق) قد اعتراهما الطى والطى المقلوب بحيث يقعان فوق صخور الحجر الرملى والرصيص الاحدث عمرا والتى ترجع الى الحين الترياسى. ويبدو ان هذه الطبقات قد قلبت وتشكلت بينما كانت تزيد من نمو الاسكا حوالى 90 مليون سنة خلت. (صورها د. جونز ـ مصلحة المساحة الجيولوجية).

كما يمكن ان تعلوها كتل اخرى وتزيد فى إزاحتها نحو اليابسة باصطدامها بكتل اخرى.

وتنبع اصلا الفكرة القائلة بأن حركات بناء الجبال تحدث بمصاحبة إضافة قطع من القشرة الأرضية الى الكتل القارية من دراسات تناولت الجزء الشمالى من جبال الكورديليرا بأمريكا الشمالية، ومن المناطق الواقعة فى حزام بناء الجبال، وعلى الاخص منطقة الاسكا وكولومبيا البريطانية. وامكن الحصول على ادلة إحاثية ومغناطيسية تشير الى ان هذه الطبقات قد نشأت قرب خط الاستواء. وزيادة على ذلك فقد كان الفرق كبيرا بين المحتوى الصخرى لهذه الطبقات وبين صخور المساحات المجاورة لها (شكل 18 ـ 28).

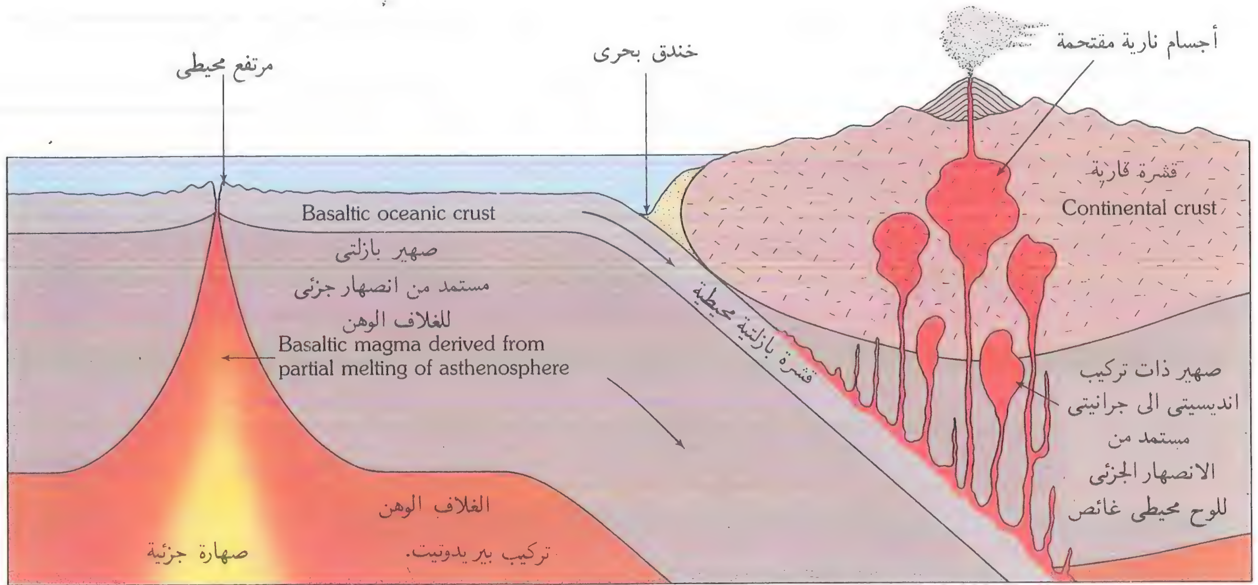
ويسود الاعتقاد الآن بأن هذه المناطق الغربية التى توجد فى جبال الكورديليرا بشمال الاسكا قد كانت فى يوم ما موزعة على امتداد شرقى المحيط الهادى مثلها فى ذلك مثل المرتفعات المحيطية الموزعة فى الجزء الغربى من هذا المحيط. وخلال المائتى مليون سنة الماضية إنتقلت هذه القطع فى اتجاه الشاطىء الغربى لأمريكا الشمالية والتحمت به. وقد ادى هذا النشاط الى الاضافات المتعاقبة لقطع القشرة القارية على امتداد شاطىء المحيط الهادى من شبه جزيرة باها الى شمال الاسكا. واذا كان هذا صحيحا فان هذه الارتطامات القارية هى المسئولة دون غيرها عن حركات بناء جبال الكورديليرا بأمريكا الشمالية. وبنفس الكيفية يتوقع ان تلتحم المرتفعات المحيطية وتسبب نمو الحواف القارية النشطة، وبذلك تتكون احزمة جديدة من حركات بناء الجبال. ومن المسلم به ان معظم احزمة بناء الجبال التى تلف المحيط الهادى الآن قد نشأت عن إصطدامات لقارات صغيرة، إلا انه لم تتم حتى الآن دراسة هذه الأحداث بالتفصيل.

ويبدو أن غوص الكتل المحيطية، مع ازاحة الصفائح المدفوعة المصاحبة لذلك، يلعبان دورا مهما فى عملية النمو القارى، غير انه تبقى عملية كشط الصفائح قليلة السمك من القشرة المحيطية الغائصة امرا غير مؤكد. هذا بالاضافة الى انه فى كثير من المواقع حيث يحدث النمو القارى، لا يوجد دليل على اى نشاط بركانى مصاحب لعملية الغوص. ورغم كل هذه المصاعب فان نظرية حركية الالواح تبقى على ما يبدو الامل الاكبر فى تفسير اصل وتطور المركبات الجبلية المعقدة. وبالتأكيد سوف يتم تقييم النظم الجبلية على ضوء هذه النظرية. وسوف يلقى هذا العمل ضوءا جديدا على تاريخ تطور بناء الجبال وسوف يكون مفيدا لتقييم النموذج ذاته. وعلى هذا المنوال قد تفتح آفاق جديدة لفهم كوكبنا الدائم التطور.

نشأة وتطور القشرة القارية

لقد تعلمنا فى الجزء السابق ان نظرية حركية الالواح تزودنا بنموذج لدراسة تكون الاحزمة الجبلية المعقدة. ولكن ما هو الدور الذى لعبته حركة الالواح وبناء الجبال فى الاحداث التى ادت الى نشأة وتطور القارات؟ فى هذا السياق لم تَحْظَ أية اجابة بقبول حسن. ويرجع عدم الاتفاق بين الجيولوجيين جزئيا الى الطبيعة المعقدة والى قدم معظم مواد القارات مما يصعب معه استيضاح تاريخها. فبينما يوجد للقشرة المحيطية تركيب بسيط نسبيا وتكوين معدنى متجانس نوعا، تتألف القشرة القارية الأقدم عمرا من خليط من صخور متحولة وصخور قارية ورسوبية. وفى كثير من المواقع تغطى صخور القاعدة تراكمات سميكة من الصخور الرسوبية الاحدث عمرا وهذا يمنع دراستها تفصيليا. ورغم ذلك فقد امكن احراز تقدم ملحوظ خلال العقدين الماضيين فى كشف الاسرار التى تكتنفها الصخور المكونة للجزء الداخلى المستقر للقارات.

فهناك افتراض متطرف يقول بأن معظم أو ربما كل القشرة القارية قد تكونت مبكرا فى تاريخ الأرض. وحسب هذا الرأى فان القشرة القارية قد نشأت خلال مرحلة كانت فيها الصخور منصهرة وتزامنت مع انفصال المواد المختلفة التى كونت لب الأرض ووشاحها (انظر الفصل العشرون). فخلال هذه المرحلة من الانفصال الكيميائى صعدت المعادن الخفيفة الغنية بالسليكا الى السطح لتكون غشاء من صخور القشرة القارية. اما المواد الفقيرة فى السليكا والغنية بالحديد والماغنيسيوم فغاصت لتكون صخور الوشاح. وبعد وقت قصير من هذا الانفصال الكيميائى عملت الحرارة الناتجة عن الانشطار النووى على تحرك القشرة ومنذ ذلك الوقت بدأت عملية تشبه حركية الالواح فى تعديل وفى تقليب القشرة القارية البدائية حتى ان بعضها اعيد انصهاره. والمبدأ الاساسى لهذا الافتراض هو ان القشرة القارية لم تتغير كثيرا منذ نشأتها ولكن شكلها وتوزيعها قد تغيرا بفعل النشاط الحركى.



شكل 18 ـ 29

العملية ذات المرحلتين التى يتم بموجبها نقل مواد من الغلاف الوهن الى القشرة القارية وحينما تتولد القشرة القارية تعمل كثافتها المنخفضة على بقائها فى حالة طفو الى اجل غير مسمى.

وهناك رأى معارض يحظى بقبول فى السنوات الأخيرة وهو يقول بأن القارات قد نما حجمها عبر التاريخ الجيولوجى عن طريق النمو المتزايد للمواد المستمدة من أعلى الوشاح. وفحوى هذا الافتراض هو ان القشرة البدائية كانت من النوع المحيطى. اما القارات فقد كانت صغيرة أو غير موجودة ثم نمت القارات ببطء عن طريق التفاعل الكيميائى لمواد الوشاح.

ويقترح هذا الرأى بأن تكون مواد القارات قد مرَّت بمرحلتين محددتين كما يظهر فى شكل 18 ـ 29 . تبدأ الخطوة الاولى فى اعلى الوشاح تحت مرتفعات وسط المحيطات مباشرة حيث ينتج عن الانصهار الجزئى لمعدن البير يدوتيت صهير بازلتى يصعد ليكون قشرة محيطية. فمحتوى صخور قاع المحيطات اكثر فى السليكا والبوتاسيوم والصوديوم واقل فى الحديد والماغنيسيوم من صخور الوشاح العليا والتى كانت بدورها منشأ لتلك الصخور. فبينما ينشأ قاع بحرى جديد عند ذروة المرتفعات المحيطية يتم هلاك القشرة المحيطية القديمة عند الخنادق البحرية. ففى هذه المناطق يتم تسخين القشرة المحيطية الغائصة الى درجة الانصهار الجزئى، وينتج عن ذلك صخور خفيفة نسبيا غنية بالسليكا تتشكل منها الاقواس البركانية. وتنتج هذه المرحلة الثانية من التفاضل الكيميائى لصهير يزداد غنى فى محتواه من السليكا. والبوتاسيوم والصوديوم بالمقارنة بالصخور التى استمد منها. اما القشرة المحيطية الغائصة والتى فقدت محتوياتها الخفيفة فتستمر فى الغوص ولا يكون لها أى دور بعد ذلك فى عملية تكون صخور القشرة. وبذلك فان عملية بناء الجبال لا تعمل فقط على اعادة بناء التركيبات فى الصخور القارية بل تعمل كذلك على انتاج مواد قارية جديدة.

ويذهب احد الآراء الى ان الصخور القارية المبكرة قد جاءت الى الوجود فى مواقع محدودة ومعزولة من اقواس الجزر. وبعد تكونها مباشرة فان هذه الاقواس قد التحمت لتكون كتلا قارية كبيرة وفى نفس الوقت عملت على تشكل الصخور البركانية والرسوبية التى تراكمت فى المحيطات

التى تتخللها، وفى النهاية أدت هذه الطريقة الى تكون كتل قارية لها حجم وسمك القارات الحديثة.

اما الدليل المؤيد لفكرة نمو القارات فقد اتى من البحث فى مناطق غوص الألواح مثل جزر اليابان والجانب الغربى للقارتـيـن الأمريكيتـيـن. ولا تقـل اهمية عن ذلك، تلك الدراسات التى تمت فى الأجزاء الداخلية المستقرة للقارات، وعلى الأخص فى مناطق الدروع. تذكر أن جميع القارات بها مناطق شاسعة ومنبسطة محتوية على صخور رسوبية ومتحولة شديدة الطى والتصدع.

ومن أكثر مناطق الدروع شيوعا تلك المتكونة من كتل ضخمة من الجرانيت والجرانوديايوريت التى اعتراها تحول شديد الى نايس، واقتحمتها فيما بعد أجسام نارية احدث عمرا. والى جانب مناطق الجرانيت والجرانوديايوريت المتحرك هناك أحزمة الحجر الأخضر (جرين ستون) سميت كذلك بسبب الظلال الخضراء الشائعة فى الصخور البركانية ذات التركيب البازلتى، والتى اعتراها تحول نطاقى خفيف. هذا كما تحتوى أحزمة الحجر الأخضر كذلك على صخور رسوبية شديدة الطى والتصدع وشديدة التحول وذلك اثناء ما يمكن ان يسمى بحادثة بناء الجبال.

وهناك أدلة حديثة تشير الى التشابه الكبير من حيث التمعدن والتراكيب الجيولوجية بين مناطـق الـدروع وبـين الحواف النشطة للقارات حيث يتم غوص وتلاشى القشرة المحيطية. وبشكل خاص فان مناطق الجـرانيت والنـايس متشابهة كيميائيا مع مناطق الكتل النارية المقتحمـة مثـل باثوليت صحراء نيفـادا الـذى يوجـد أيضـا على امتـداد الشواطىء الغربية للأمريكيتين. غير أن الكتل الصخـرية القديمة لا تساوى بالضبط كتل باثـوليت الدهـر المتوسـط الاحدث عمرا، ولكن يمكن تفسير الفروق بينهما فى ضوء حقيقة واحدة وهى ان صخور مناطق الجرانيت والنايس التى تقع فى الدروع قد تبلّرت فى اعماق سحيقة بعد تعرضهـا لفترات طويلة من عوامل الرفع والتعرية. أمـا الأجـزاء المتكشفة من كتل باثوليت الدهر المتوسط، فقد تكونت قرب السطح وتفتقر الى علامات التحول العميق. هذا بالاضافة الى ان صخور احزمة الحجر الأخضر لها، كما يبدو، تركيب كيميائى مشابه لتركيب اللابة والرواسب التى توجـد قرب الأقواس البركانية الحديثة مثل جزر اليابان. ويسود الاعتقاد بأن صخور احزمة الحجر الأخضر قد تشكلت مع قطع من صخور قيعان المحيطات والتصقت تماماً بحـواف القـارات خلال فترات انغلاق الاحواض المحيطية القديمة وتعادل هذه الصخور فى نشأتها صخور مركب مختلط مثل ذلك الممثل للسلسلة الساحلية لجبال كاليفورنيا.

هذا كما ان التاريخ الاشعاعى لصخور مناطق الدروع بما فى ذلك صخور ولاية منيسوتا وجرينلاند قد بينت ان عمر اقدم المناطق هو 3.8 بليون سنة. ويعتقد بأن هذا التاريخ يمثل اقدم فترات بناء الجبال. ومن المحتمل انه لا يوجد فى ذلك الوقت سوى 10 % من القشرة القارية الحالية. وربما كانت الفترة الرئيسية التالية لتطور القارات قد حدثت منذ حوالى 3 الى 2.5 بليون سنة كما تشير اليها ارقام التاريخ الاشعاعى من مناطق مشابهة وجدت فى الدروع فى كل من افريقيا وغرب استراليا ولا يعرف بالضبط كم عدد فترات بناء الجبال منذ نشأة الأرض اما الفترة الأخيرة لبناء الجبال فقد تزامنت مع انغلاق المحيط الأطلسى البدائى واحواض محيطية اخرى قديمة عند نشأة القارة العملاقة بنجيا .

واذا كان نمو القارات يتم عن طريق تراكم المواد على حوافها فان حجم القـارات قد زاد على حسـاب القشرة المحيطية ويفترض هذا الرأى طفو القشرة القـارية وعـدم قابليتها للهلاك. وفى هذه الحالة فان الرواسب المستمدة من تعرية المواد القارية الغائصة مع الألواح المحيطية تنصهـر وتعود الى القارات وبالرغم من بقاء صخور القشرة الأرضية طافية بصفة مستديمة، الا ان بعض القارات تنشطر فى بعض الأحيان وتنقل مع مواد القشرة المحيطية على هيئة الحـزام الناقل حتى تصطدم مع كتل ارضية اخرى ففى الوقـت

الحاضر تتحرك قارة استراليا التى انفصلت عن قارة القطب الجنوبى فى اتجاه الشمال، وربما تتصل بقارة آسيا مثلما فعلت شبه جزيرة الهند منذ حوالى 45 مليون سنة. وبذلك وحسب هذا المذهب فان المسئول على حجم وتركيب القارات هو عمليات الانشطار وتجمع صخور القشرة الجديدة التى تصاحب عملية اعادة ترتيب قطعها.

وهنا لا بد من تحذير وهو أن الآراء التى طرحت فى هذا الجزء من الكتاب لشرح اصل وتطور القارات ما زالت فى طور التخمين. فحركية الألواح كما يبدوهى القوة العاملة على تطور القشرة خلال الستمائة مليون سنة الماضية ولكن خلال تاريخ الأرض المبكر لا بد ان تكون الحرارة المنبعثة عن انشطار عناصر اليورانيوم والثوريوم والبوتاسيوم ضعف ما هى عليه اليوم. هل كانت حركية الألواح نشطة حينئذ خلال تاريخ الأرض ولكن بمعدلات مختلفة؟ ام ان عمليات اخرى لها دور فى ذلك؟ هل كانت القشرة البدائية مؤلفة اصلا من صخور القارات ام انها كانت من صخور المحيطات؟ هذه هى الأسئلة التى تحتاج الى اجابة شافية.

أسئلة للمراجعة :

1 ـ اذكر ثلاثة أدلة مؤيدة لمبدأ رفع القشرة الأرضية.

2 ـ ماذا يحدث لجسم طاف عندما يضاف اليه وزن؟ أو يحذف منه وزن؟ كيف ينطبق هذا المبدأ على التغيرّات التى تحدث لارتفاع الأرض؟ ما هو المصطلح المستعمل للتعديلات التى تسبب فى رفع القشرة من هذا النوع؟

3 ـ اذكر ثلاثة أدلة مؤيدة لفكرة أن الغلاف الصخرى يحاول البقاء فى حالة توازن كتلى؟

4 ـ ما هى الشروط اللازمة لتشكيل الصخور عن طريق الطى؟ وعن طريق التصدع؟

5 ـ فرّق بين الحركات التى تحدث على امتداد الصدوع العادية والتى تحدث على امتداد الصدوع العكسية ونوع الضغط المناسب لكل صدع؟

6 ـ عند أى نوع من أنواع الحواف الثلاثة للألواح يسود التصدع العادى والتصدع العكسى والتصدع المضربى؟

7 ـ صف كلا من النتق والمنخسف. اشرح كيف ينشأ وادى المنخسف واذكر مثالا على ذلك.

8 ـ قارن وفرّق بين الحنيرات والقعيرات والقباب والاحواض والحنيرات والقباب.

9 ـ رغم أننا نصنف كثيرا من الجبال على اساس أنها مطوية. لماذا يمكن اعتبار هذا الوصف مغالطة الى حد ما؟

10 ـ صف المفهوم الحديث للقعيرة العظمى.

11 ـ ما هو الخلوط (ميلانج)؟ اشرح نشأته باختصار.

12 ـ ما هو وجه الشبه بين جزر اليابان وصحراء نيفادا، وجبال الانديز الغربية؟

13 ـ هل يعمل اكتشاف فتات من القشرة المحيطية فى داخل القارات على تدعيم أم دحض نظرية حركية الألواح؟ لماذا؟

14 ـ لماذا يعتقد الجيولوجيون بأن رحلة شبه الجزيرة الهندية فى اتجاه الشمال قد قاربت من نهايتها؟

15 ـ كيف تساعد نظرية حركية الألواح فى تفسير وجود مستحاثات لحيوانات بحرية فوق قمة جبال الأورال؟

16 ـ ـ بأسلوبك الخاص ـ وباختصار ـ عدّد الخطوات التى يمر بها تكوين نظام جبلى معقد حسب نموذج حركية الألواح.

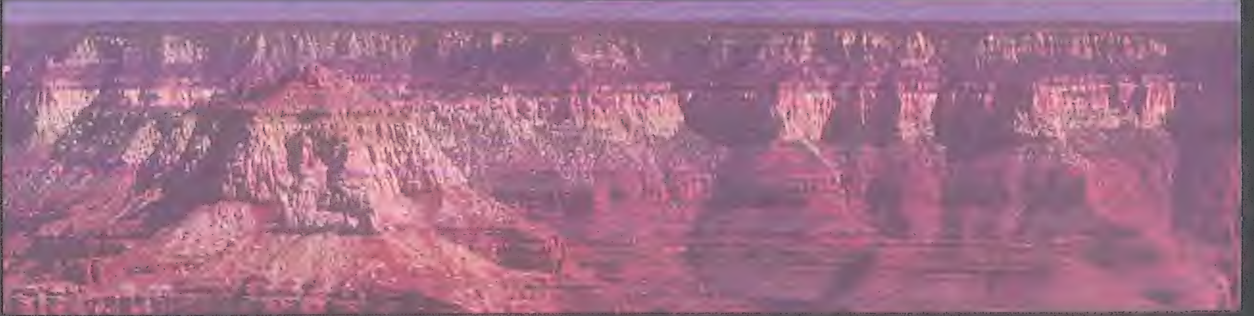
17 ـ بناء على ما وصلت اليه المعرفة الحاضرة صف الفرق الأساسى بين تطور جبال الابالاش وكورديليرا أمريكا الشمالية.

18 ـ فرق بين الآراء المتعارضة عن أصل القشرة القارية.

الكلمات الدالة :

اتزان القشرة الأرضية	**isostasy**
حنيرة	**anticline**
حنيرة محيطية عظمى	**eugeocline**
تركيب وحيد الميل	**monocline**
تشكل غير مرن	**pastic deformation**
تشكل مرن	**elastic deformation**
جبل قوالب الصدوع	**fault block mountain**
جبل مطوى	**folded mountain**
جبل منبثق	**upwarped mountain**
حركة بناء الجبال	**orogenesis**
حوض	**basin**
خلوط	**melange**
صدع اندفاعى	**thrust fault**
صدع عادى	**normal fault**
صدع عكسى	**reverse fault**
صدع مضربى	**strike-slip fault**
صدع ميلى	**dip-slip fault**
صدع وترى	**oblique-slip fault**
ظهر حمار	**hogback**
فاصل	**joint**
قبة	**dome**
قعيرة	**syncline**
قعيرة عظمى	**geosyncline**
قعيرة محيطية عظمى	**eugeosyncline**
قعيرة قارية عظمى	**miogeosyncline**
مضرب	**strike**
منخسف	**graben**
نتق	**horst**

19



الزمن الجيولوجى

19



الوسائل المبكرة لتأريخ الأرض

النشاط الاشعاعى والتأريخ بالقياس الاشعاعى

التأريخ النسبى

المضاهاة

التقويم الجيولوجى

الصعوبات فى تأريخ التقويم الجيولوجى

قاد جون ويزلى باول سنة 1869 رحلة رائدة مارا عبر نهر كولورادو بمنطقة الاخدود الكبير (شكل 19 ـ 1). وفى كتابته عن الطبقات التى تكشفت الى السطح بواسطة نحت مجرى النهر قال باول بأن الأخاديد بهذه المنطقة عبارة عن ناموس للجيولوجيين.

وبدون شك كان باول معجبا بالملايين غير المحدودة من سنوات تاريخ الأرض والمتكشفة على جانبى الاخدود الكبير (انظر صورة الافتتاحية لهذا الباب).

واستنتاج تاريخ الأرض هو الهدف الأساسى لعلم الجيولوجيا. ومثلما يعمل المحقق فى يومنا هذا لا بد للجيولوجى أن يفسر الادلة التى يجدها محفوظة بالصخور. وبدراسة الصخور الرسوبية خاصة، والملامح التى تحويها يستطيع الجيولوجيون ان يحللوا أحاجى الماضى. الا ان الأحداث لوحدها تعنى القليل لحين وضعها فى صورة زمنية.

ودراسة التاريخ سواء أكان تاريخ حرب طويلة أو عصر الديناصورات يحتاج الى تقويم زمنى. ومن ضمن الانجازات الكثيرة التى حققها علم الجيولوجيا للمعرفة الانسانية هى التقويم الجيولوجى وفكرة أن تاريخ الأرض طويل جدا.

الطبقات المتكشفة عند الأخدود الكبير تدل على ملايين من السنين من تاريخ الأرض.

وعلى مرور السنوات الكثيرة استنبط الجيولوجيون السلم الزمنى. وهو التقويم الزمنى الذى فيه توضع الاحداث فى مكانها الصحيح. وبمعرفة أن تاريخ الارض قد امتد زمنا طويلا استطاع الجيولوجيون التوصل الى معرفة عمر الأرض.

الوسائل المبكرة لتاريخ الأرض

لقد قدرت الطرق الحالية للتأريخ بالقياس الاشعاعى عمر الأرض فيما بين 4.6 ـ 4.8 بليون سنة. الا ان هذا العمر الهائل للارض يعتبر اكتشافا حديثا نسبيا. وبالرغم من أن جيمس هاتون وآخرين الذين سلموا بنظرية الانتظام قد اعتقدوا بأن الأرض قديمة جدا، ولم تكن لديهم وسيلة لمعرفة العمر الدقيق للأرض. وقد جرى البحث عن العديد من الحلول لمشكل التأريخ هذا، واستنبطت العديد من الطرق لذلك. واحدى هذه الطرق تتمثل فى معدلات الترسيب. فلقد دلل بعض الجيولوجين بأنه اذا تمكنوا من معرفة معدل الترسيب ومن معرفة السمك الكلى للصخور الرسوبية التى تراكمت خلال تاريخ الأرض، عندها سوف يتمكنون من تقدير طول الزمن الجيولوجى بدقة.

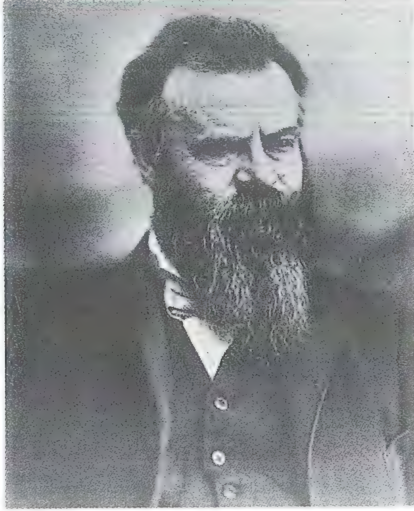
وكل ما يجب عمله هو قسمة معدل السمك الكلى للرسوبيات على معدل تجمع الرسوبيات للصخور الرسوبية. ولسوء الحظ فقد اعترضت هذه الطريقة صعوبات من بينها:

1 ـ يتم تجميع الرسوبيات المختلفة بمعدلات مختلفة وتحت ظروف غير متماثلة، وعليه فان مقياس المعدل الاجمالى لتجمّع الرسوبيات أمر غاية فى الصعوبة. زد على ذلك فانه اذا تم قياس هذا المعدل، فليس بالضرورة انه يساوى المعدل الذى يمكن تطبيقه على الماضى.

2 ـ وحيث انه لا يوجد موقع واحد يضم عمودا جيولوجيا متكاملا فان تقدير السمك الكلى للصخور الرسوبية لا بد أن يتم بتجميع اقصى سمك معروف للصخور لكل عمر. وهذه التقديرات يتحتم مراجعتها كلما اكتشفت مواقع لمقاطع جديدة اكثر سمكا.

3 ـ تتضام الرسوبيات عند تصخرها، وعليه فلا بد من أخذ





شكل 19 ـ 1

(أ) ـ بداية الرحلة من محطة النهر الأخضر. رسم من كتاب باول سنة 1875 . (ب) ـ صورة جون ويزلى باول، الجيولوجى الرائد.

هذا التضام فى الاعتبار وذلك بتصحيح القياسات بناء على ذلك.

وغنى عن القول بأن تقديرات عمر الأرض اختلفت كثيرا عند محاولة تطبيق هذه الطريقة من قبل مختلف العلماء. والرقم الذى يمثل اقصى سمك للصخور الرسوبية يتراوح بين 9600 متر الى ما هو اكثر من 100,500 متر ويتراوح الزمن اللازم لتجمع 0.3 مترا من الرسوبيات ما بين 100 سنة الى اكثر من 8600 سنة، وعليه فان عمر الأرض كما حسبت بهذه الطريقة يتراوح بين 3 مليون و 1.5 بليون سنة.

وشملت الطريقة الأخرى لتأريخ الأرض ملوحة مياه المحيطات والتى افترضت بأنها كانت فى الاصل مياها عذبة. فلقد شعر العلماء بأنه اذا تمكنوا من تقدير كميات الاملاح التى تنقل الى المحيط كل سنة بواسطة الانهار، والكميات الاجمالية للاملاح الموجودة حاليا بالمحيطات، فانهم سيتمكنوا من معرفة طول الزمن الجيولوجى وذلك بتقسيم الرقم الاخير على الاول. وباستعمال هذه الطريقة تمكن جون جولى مع بداية القرن العشرين من قياس عمر الارض بحوالى 90 مليون سنة. الا ان جولى لم يكن لديه فكرة صحيحة عن كميات الاملاح المفقودة من المحيطات بسبب الترسيب. والرياح التى تقذف بهذه الأملاح الى اليابسة. ومن الممكن ايضا بأن تكون درجة تجمع الأملاح ليست ثابتة دائما. وعليه فان تقدير جولى لعمر الأرض لم يكن صائبا. الا ان الطريقتين المذكورتين لقياس عمر الأرض قد دلتا على أن الأرض اقدم بكثير من تقدير القسيس يوشر الذى قدر عمر الأرض بحوالى 6000 سنة. وقد جمعت التقديرات الأكثر تأثيرا لعمر الأرض من قبل الفيزيائى المعروف اللورد كيلفن وذلك فى الجزء الأخير من القرن التاسع عشر. وحيث أن تقديرات كيلفن تطلبت بعض الافتراضات التى بنيت على قياسات دقيقة، فقد كانت مقبولة لمدة من الزمن. واحد طرق

كيلفن بنيت على الافتراض الشائع وهو أن الأرض كانت اصلا منصهرة ثم بردت لهيئتها الحالية. وبالرغم من أن قراءات ونتائج كيلفن كانت محدودة الاانه قد اوضح بجلاء بأن عمر الأرض لا يتعدى 100 مليون سنة بل هو أقل من ذلك بكثير. وقد بنى التقدير الثانى لكيلفن على حقيقة ان مصدر الطاقة الشمسية الهائل هو من اصل تقليدى (لم يتم اكتشاف الاندماج النووى والنشاط الاشعاعى بعد). ولقد دلت حساباته على ان الشمس قد اضاءت الأرض لبضع عشرات من ملايين السنين فقط وأضاف الى ذلك بأن الأرض كانت أكثر حرارة بكثير وستكون فى المستقبل اكثر برودة. واعتقد كيلفن بأن الأرض كانت صالحة للحياة لفترة 20 ـ 40 مليون سنة فقط وتقديرات كيلفن التى ظهرت بأنها غير قابلة للنقض آنذاك كان لها تأثير عميق: فقد وجد علماء التطور بأنه من المستحيل ان يقبلوا هذه الأرقام، الا ان كل ما لديهم كان عبارة عن تقديرات علمية مقابل حسابات كيلفن. ولقد تنازل داروين ومن معه عن بعض مقترحاتهم الواردة فى نظريتهم للتطور ونظرية الانتظام فى محاولة للوفاق مع تقديرات الفيزيائيين. الا انه فى نهاية المطاف تم تبريرها.

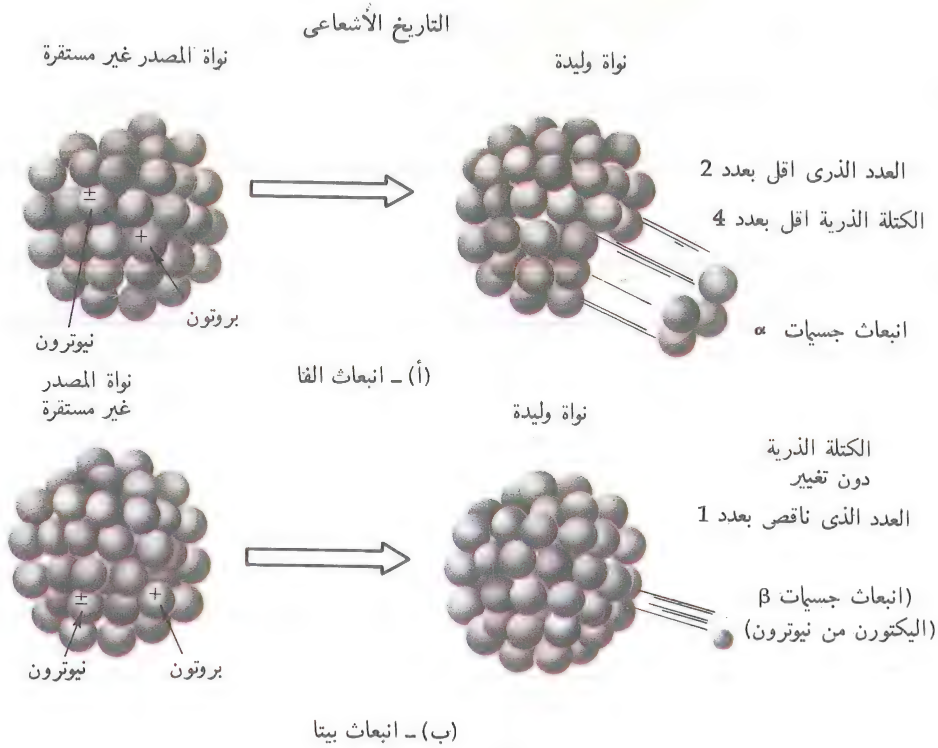
النشاط الاشعاعى والتأريخ بالقياس الاشعاعى

تعتبر اغلب الذرات مستقرة غير متغيرة، الا ان بعضها متغير. وهى تطلق حرارة باستمرار عند تفتت أو تحلل النويات. وهذه هى الحرارة التى تساعد على حفظ حرارة باطن الأرض العالية، وهى ايضا مصدر الحرارة التى كان يقيسها كيلفن معتقدا بأنه يقيس معدل انخفاض درجة حرارة الأرض. فى الباب الثانى عرفنا بأن الذرة تتكون من الالكترونات والبروتونات والنيوترونات. فالالكترونات لديها شحنة سالبة، والبروتونات لديها شحنة موجبة. وحيث ان النيوترون هو عبارة عن الالكترون والبروتون مجتمعين، فهو ليس له شحنة. وتوجد البروتونات والنيوترونات فى المركز او فى نواة الذرة. اما الالكترونات فهى تدور حول النواة فى مدارات ثابتة. وعمليا فان كل كتلة الذرة (99.9 %) موجودة فى النواة، مدللة بأن الالكترونات عمليا ليس لها كتلة على الاطلاق. وباضافة عدد البروتونات الى عدد النيترونات فى النواة يتحدد العدد الكلى للذرة. ويساوى العدد الذرى (الرقم المعروف للذرة) عدد البروتونات. ولكل عنصر من العناصر المعروفة عدد معين من البروتونات بنوياتها، وعليه فان لديها رقم ذرى مختلف. وذرات نفس العنصر يمكن ان يكون لها اعداد مختلفة من النيوترونات فى النواة. وتسمى هذه الذرات بالنظائر، حيث لديها اعداد كتلية مختلفة ولكن لديها نفس العدد الذرى.

والقوى التى تربط البروتونات والنيوترونات ببعضها البعض فى النواة قوية جدا، الا ان طبيعة هذه القوى ما زالت غامضة. وبعض النظائر لديها نويات غير ثابتة، أى ان القوى التى تربط البروتونات والنيوترونات مع بعضها البعض ليس لديها القوة الكافية. ونتيجة لذلك فان النويات تتفتت أو تتحلل باستمرار وهذه هى العملية التى تسمى بالنشاط الاشعاعى. ماذا يحدث عندما تتفتت نوية غير ثابتة؟ يبين شكل 19 ـ 2 نوعان من التحلل الاشعاعى:

1 ـ جسيمات الفا (جسيمات α) يمكن انبعاثها من النواة. ويحتوى جسيم الفا على 2 من البروتونات، 2 من النيوترونات. وعليه فان انبعاث جسيم الفا يعنى ان العدد الكتلى للنظير يتناقص بعدد 4 والعدد الذرى يتناقص بعدد 2.

2 ـ وعندما ينطلق جسيم بيتا (جسيم β) او الكترون من النواة، فان العدد الكتلى يبقى بدون تغير، حيث ان الالكترونات ليس لديها أى كتلة. الا انه لا بد للالكترون ان يكون قد اتى من النيوترون (تذكر ان النيوترون هو عبارة عن البروتون والالكترون مجتمعين)، وعليه فان للنواة بروتونا واحدا زائدا عن ذى قبل.



شكل 19 ـ 2
الانـواع الشائعـة من الانحـلال الاشعاعى. لاحظ أن فى كل حالة عدد البروتونات (العدد الـذرى) بالذرة يتغير، منتجا عنصرا مختلفا.

وبذلك فان العدد الذرى يزداد بمقدار واحد. والنظائر المشعة غالبا ما يشار اليها على انها **المصدر** والنظائر الناتجة عن تحلل هذا المصدر تسمى **النواتج الوليدة**. ويعطى شكل 19 ـ 3 مثالا عن التحلل الاشعاعى. هنا نستطيع ان نرى بأنه عندما يتحلل المصدر المشع يورانيوم ـ 238 (عدد ذرى 92 ، عدد كتلى 238)، تنبعث 8 جسيمات لاشعة الفا، و 6 جسيمات لاشعة بيتا قبل ان يصبح النتاج الوليدى المستقر ـ رصاص ـ 206 (عدد ذرى 82 ، عدد كتلى 206).

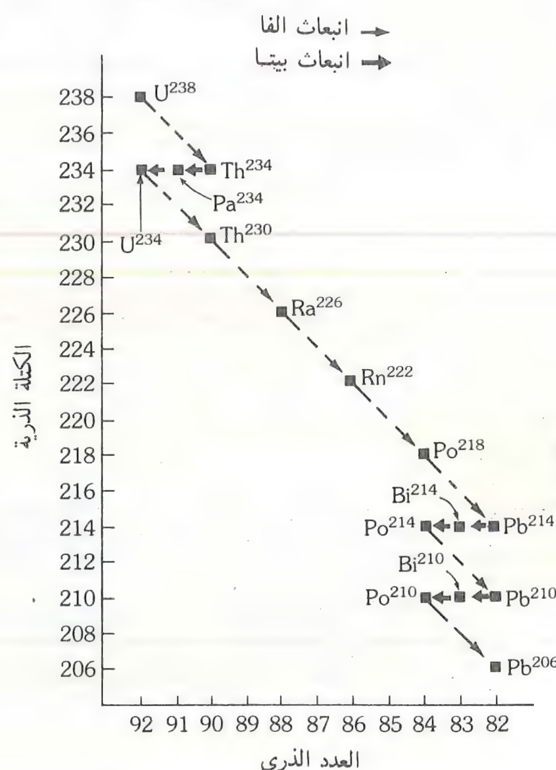
وبكل تأكيد فانه من بين اهم النتائج لاكتشاف النشاط الاشعاعى هو انها اعطت طريقة موثوقا بهـا لقياس اعمار الصخور والمعادن التى تحوى نظائـر مشعـة. وتعـرف هذه الطريقـة **بالتـأريخ الاشعاعـى**. ولماذا نثـق بالتـأريخ الاشعاعى؟ تكمن الاجابـة على ذلك فى ان معـدل تحلل النظائر المشعة ثابت وغير متأثر بأية عوامل مساعدة كيميائة أو فيزيائية.

وبيان الوقـت الـلازم لتحلل نصف نويات عينـة ما والمسمى **بعمر النصف** هو الطريقة المتداولـة لبيان معـدل التحلل الاشعاعى. فاذا ابتدأنا برطل من المواد المشعة، فان تحلل نصف رطل من هذه المواد سيتم بعد عمر نصف واحد، ونصف الكمية الباقى سيتحلل بعد عمر نصف آخر وهكذا. ويبين شكل 19 ـ 4 أسس التأريخ الاشعاعى باستعمال مصدر مشع افتراضى والذى سيتحلل مباشرة الى مواد وليدة ثابتة، عمرها النصفى هو 1 مليون سنة. وباحتساب النسب المئوية لمواد المصدر المشع ونتاج الوليد الثابت، يمكن قياس عمر الصخر. وفى هذا المثال عند تساوى كميات المصـدر والوليد (1 : 1) تعرف بأنه قد انقضى عمرا نصفيا واحدا وان العينة عمرها 1 مليون سنة. وعندما تكون نسبة المصدر الى الوليد 1 : 15 ، تعرف بأن عمر العينة 4 ملايين من السنين.

ومن النظائر المشعة الكثيرة التى توجـد فى الطبيعـة، أثبتت 5 منها فعاليتها فى معرفة الاعمار الاشعاعية للصخور

القديمة. ويلخص الجدول 19 ـ 1 النظائر الأكثر استعمالا. اما الباقية فهى اما نادرة جدا او ان اعمارها النصفية اقصر أو اطول بكثير مما يمكن استعماله.

ويستعمل الروبيديوم ـ 87 ونظيرى اليورانيوم لتاريخ الصخور التى تتراوح اعمارها بملايين السنين فقط. اما البوتاسيوم ـ 40 فهو اكثر صلاحية للاستعمال. وبالرغم من ان العمر النصفى للبوتاسيوم ـ 40 هو 1.3 بليون سنة، فان الطرق التحليلية الأخيرة جعلت من الممكن احتساب كميات دقيقة من وليداته الثابتة، وهى ارجون ـ 40 فى صخور تبلغ اعمارها 50,000 سنة فقط.

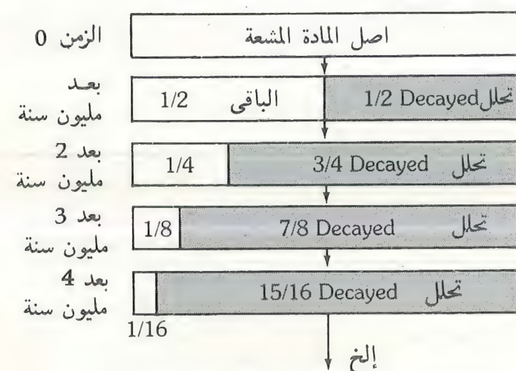


شكل 19 ـ 3

نظيرة اليورانيوم الشائعة (يو ـ 238) كمثل لمجموعة التحلل الاشعاعى. فقبل الوصول الى الناتج النهائى (ر ـ 206)، نتجت العديد من النظائر المختلفة كخطوات متوسطة.

ولكى يتم تأريخ الاحداث الاقل عمرا، تستعمل النظائر المشعة للكربون وهو كربون ـ14 (ويسمى ايضا بالكربون المشع). حيث ان له عمرا نصفيا قدره 5730 سنة فقط. وبالامكان استعماله لتأريخ الاحداث التى وقعت خلال التأريخ الماضى اضافة لتلك التى وقعت فى التاريخ الجيولوجى الحديث. وحتى اواخر السبعينات كان يستعمل الكربون المشع فى تأريخ الحوادث التى يبلغ عمرها ما بين 40,000 ـ 50,000 سنة فقط. وكما الحال بالنسبة للبوتاسيوم ـ 40 . كما ان تطور الوسائل التقنية التحليلية زاد من فاعلية هذه «الساعة». فالآن يمكن استعمال الكربون ـ 40 لتأريخ الاحداث التى يصل عمرها حتى 75,000 سنة. وهذا انجاز قيم حيث انه يعنى ان الجيولوجيين يستطيعون الآن تأريخ العديد من ظواهر العمر الجليدى التى تعذر تحديد اعمارها من قبل.

ويتكون الكربون ـ 14 باستمرار من طبقات الجو العليا نتيجة لانكسار نويات الغازات بواسطة قذائف الاشعة الكونية مطلقة بذلك النيوترونات. ويمتص النيتروجين هذه النيوترونات (عدد ذرى 7 ، عدد كتلى 14) مسببا انبعاث نواتها للبروتون. وعليه فان العدد الذرى يتناقص بمقدار 1 (الى 6). ويتكون العنصر الجديد وهو كربون ـ 14 (شكل



شكل 19 ـ 4

تحلل نظيرة اشعاعية افتراضية لها عمر النصف قيمته مليون سنة.

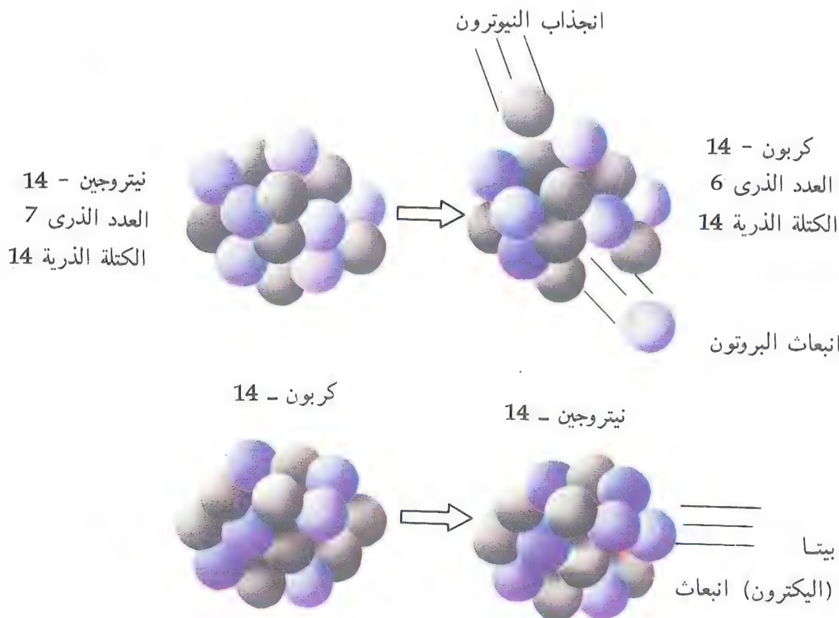
جدول 19 ـ 1
النظائر المشعة الشائعة الاستعمال.

مقادير عمر النصف المستعملة حاليا	مادة وليدة ثابتة	اصل المادة المشعة
4.5 بليون سنة	رصاص - 206	يورانيوم - 238
713 بليون سنة	رصاص - 208	يورانيوم - 235
14.1 بليون سنة	رصاص - 208	ثوريوم - 232
47.0 بليون سنة	سترونشيوم - 87	روبيدوم - 87
1.3 بليون سنة	أرجون - 40	بوتاسيوم - 40

19 ـ 5 أ). ويتحد نظير الكربون ليتحول بسرعة الى ثانى اكسيد الكربون بالغلاف الجوى حيث تمتصه الكائنات الحية. ونتيجة لذلك فان كل الكائنات الحية تحتوى على كمية صغيرة من كربون ـ 14 .

وعندما يكون الكائن حيا. فان الكربون المشع المتحلل يكون دائما فى حالة استبدال. ونتيجة لذلك، فان نسبة الكربون ـ 14 الى كربون ـ 12 (اكثر نظائر الكربون شيوعا) تبقى ثابتة. وبالرغم من ذلك، فانه عندما يتحلل النبات أو الحيوان، تتناقص كمية الكربون ـ 14 تتناقص تدريجيا عند تبدله الى نيتروجين ـ 14 بانبعاث اشعة بيتا (شكل 19 ـ 5 ب). ولذلك فبمقارنة نسب الكربون ـ 14 والكربون ـ 12 بالعينة، يمكن تحديد تواريخ الكربون الاشعاعى.

وبالرغم من ان الكربون ـ 14 صالح فقط فى تأريخ الجزء القليل الباقى من التاريخ الجيولوجى، الا انه اصبح وسيلة قيمة جدا لعلماء الاصل، وعلماء الآثار والمؤرخين اضافة الى الجيولوجيين المهتمين بالتاريخ الجيولوجى الحديث. وفى الحقيقة فان تطور تأريخ الكربون المشع اعتبر من



شكل 19 ـ 5
(أ) ـ انتاج الكربون ـ 14 .
(ب) ـ تحلل الكربون ـ 14 .

الاهمية بمكان حتى ان الكيميائى ويلارد ليبر، الذى اكتشف هذا التطبيق تحصل على جائزة نوبل.

تذكر انه بالرغم من ان الاساس فى التأريخ الاشعاعى بسيط نسبيا، فان الطريقة الفعلية معقدة نوعا، حيث أن التحليلات الكيميائية التى تحدد كميات المصدر والوليد الموجودة لا بد من أن تكون بدقة متناهية. اضافة لذلك فان بعض المواد المشعة لا تتحلل مباشرة الى مواد وليدة ثابتة كما هو الحال فى المثال الافتراضى، وهذه الحقيقة تزيد من تعقيد التحاليل. وفى حالة اليورانيوم ـ 238 هناك 13 مادة وليدة متوسطة غير ثابتة تتكون قبل تكون الرصاص ـ 206 وهو المادة الوليدة الرابعة عشر الثابتة والاخيرة (شكل 19 ـ 3).

ولقد انتجت طرق التأريخ الاشعاعى الآلاف من التواريخ لأحداث فى تاريخ الأرض. فلقد تم تأريخ صخور تزيد اعمارها عن 3 بليون سنة من مختلف المواقع. ويفسر الجيولوجيون بأن هناك صخوراً اقدم من هذه الأعمار. فمثلا الجرانيت الذى يوجد بجنوب القارة الأفريقية والمؤرخ بـ 3.2 بليون سنة يحتوى على شوائب دخيلة من الكوارتزيت. والكوارتزيت هو صخر متحول من اصل رسوبى رملى. وحيث ان الحجر الرملى ناتج عن تصخر الرسوبيات التى انتجتها تجوية الصخور السابقة فإنه لدينا أدلة مؤكدة على وجود صخور اقدم. ولقد اكد التأريخ الاشعاعى افكار هاتون وداروين والآخرين الذين افترضوا منذ اكثر من 150 سنة خلت بأن الزمن الجيولوجى غارق فى القدم. وبكل تأكيد فلقد ثبت ان هناك وقتا كافيا للمراحل البطيئة التى نشاهدها لكى تقوم هذه بالاعمال الجبارة.

التأريخ النسبى

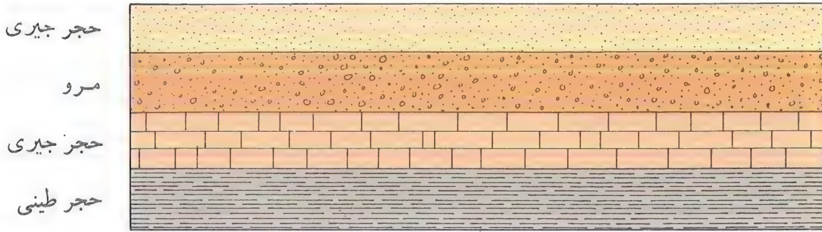
ينتج عن التأريخ الاشعاعى تواريخ محددة للوحدات الصخرية التى تمثل مختلف الاحداث فى تاريخ الارض البعيد. ونستطيع الآن ان نذكر بشىء من الثقة ان احداث جيولوجية معينة قد حصلت خلال تواريخ زمنية محددة خلت. ويشار الى هذه التواريخ بأنها **مطلقة** اذ انها تحدد الزمن الذى حصلت فيه حادثة ما. وقبل اكتشاف النشاط الاشعاعى وتطور تقنية التاريخ الاشعاعى لم يكن لدى الجيولوجيين طريقة محددة للتأريخ المطلق وكان عليهم الاعتماد الكلى على **التأريخ النسبى**. ويعنى التأريخ النسبى ان الصخور موضوعة فى تتابعها او فى مكانها الصحيح. فالتأريخ النسبى لا يخبرنا عن زمن حدوث شىء ما، بل يعلمنا بأنه تلا حدثا معينا وسبق حدثا آخر. وطرق التأريخ النسبى التى تمَّ الوصول إليها ما زالت تستعمل بكثرة حتى الآن. فطرق التأريخ المطلق لم تحل محلها بل انها كانت مكملة لها.

ولكى نرسى جدولا زمنيا نسبيا. لا بد لنا من اكتشاف وتطبيق بعض من الاسس والقوانين. وبالرغم من أن هذه الاسس تبدو وكأنها مسلم بها الا ان اكتشافها كان انجازا علميا مهما.

ويرجع الفضل فى إرساء دعائم التأريخ النسبى الى العالم الفيزيائى الايطالى نيكولاس ستينو فى التعرف على تتابع بعض الاحداث التاريخية لصخور رسوبية متكشفة على السطح. واثناء عمل ستينو بجبال غربى ايطاليا، طبق قاعدة بسيطة اصبحت فيما بعد المبدأ الاساسى الاهم للتأريخ النسبى ، وهى **قانون التعاقب**. وينص هذا القانون ببساطة على انه عند أى تتابع طبقى سليم للصخور الرسوبية، فإن كل طبقة اقدم من الطبقة التى اعلاها واحدث من الطبقة التى اسفلها.

قد يبدو بديهيا عدم امكانية ترسيب أى طبقة دون وجود اخرى اسفلها لدعمها، الا انه لم يتم ذكر ذلك بوضوح حتى سنة 1669 من قبل ستينو. وتنطبق هذه القاعدة ايضا على المواد المترسبة على السطح مثل طفوح اللابا وطبقات الرماد البركانية. وباستعمال قانون التعاقب على الطبقات المبينة بشكل 19 ـ 6، نستطيع بسهولة ترتيب الطبقات من

شكل 19 ـ 6
بتطبيق قانون التعاقب على هذا المقطع، نجد أن طبقة الطفلة هى الأقدم وطبقة الحجر الرملى هى الأحدث عمرا.

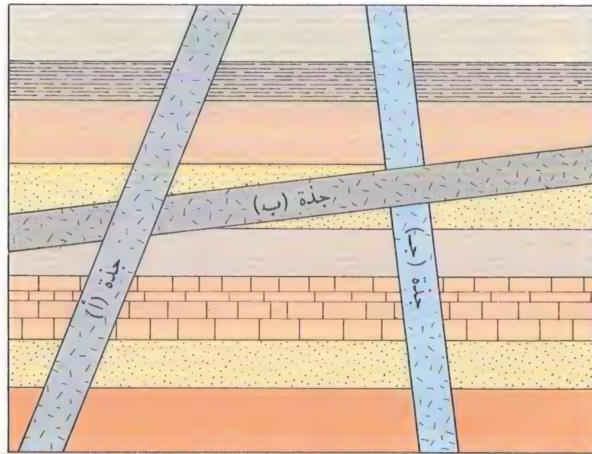


تسلسلها الطبيعى، الحجر الرملى هو الاحدث والحجر الطينى هو الاقدم.

ويرجع الفضل لستينو ايضا فى التعرف على اهمية قاعدة اخرى اساسية، تسمى **بمبدأ التأفق المبدئى**. ويعنى ذلك ببساطة ان الطبقات عموما ترسبت فى وضع افقى تقريبا. وعليه فاذا ما لاحظنا طبقات صخرية ذات ميلان شديد فلا بد وانها وصلت الى ذلك الوضع نتيجة لاضطراب تكوينى حدث فى وقت ما بعد فترة الترسيب. وعند انقطاع الطبقات بواسطة اقتحامات نارية او صدوع، ينظر الى هذه الاقتحامات والصدوع على أنها احدث من الطبقات المقطوعة. فمثلا عند تقاطع جذتين قاطعتين فلا بد وان اقدمها قد انشقت للسماح للاحدث بتخللها. والجذة القاطعة الاحدث عمرا تكون مستمرة فى حين ينقطع الاقدم عند نقطةالالتقاء. وقد تستمر الجذة القاطعة الاحدث عمرا بينا تتخلل الجذة الاقدم عمرا عند نقطة **التقاطع** شكل 19 ـ 7.

ويشار الى الطبقات المترسبة بدون انقطاع على انها **متوافقة** بالرغم من عدم وجود اى مكان على وجه الأرض يحوى مجموعة متكاملة من الطبقات المتوافقة. وحتى لفترة زمنية معينة، فكثير من المواقع لا توجد بها مجموعة متكاملة من الطبقات المتتابعة التى تمثل تلك الفترة الزمنية بكاملها.

ويشار الى الانقطاعات فى السجل الصخرى **بعدم توافق** ويوضح شكل 19 ـ 8 بعض من طرق تكون عدم التوافق. واكثر هذه الأنواع وضوحا نلك التى تحتوى على طبقات رسوبية مائلة أو مطوية. تعلوها اخرى اقل ميلانا.



شكل 19 ـ 7
علاقات التقاطع. كل الجذذ احدث من الصخور المقتحمة أو المقطوعة. حيث ان الجذة ب قطعت الجذة جـ. وحيث أن الجذة أ قطعت الجذة ب. عليه فإن ترتيب هذه المقتحمات من الاقدم للاحدث كالتالى جذة جـ. جذة ب. جذة أ.

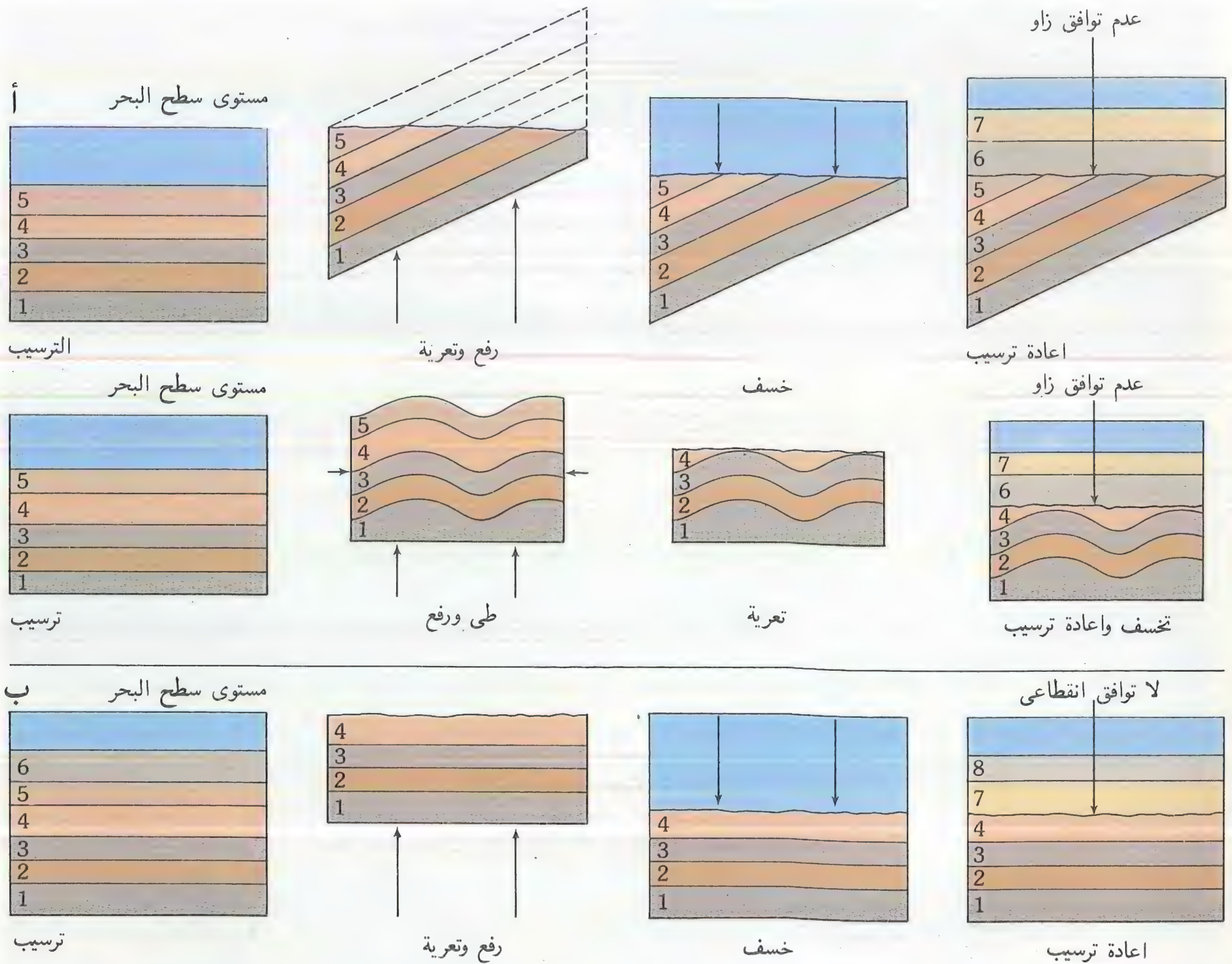
ويسمى هذا النوع **بعدم التوافق الزاوى**. وهى تدل على ان فترة التشكل (الميلان والطى) والتعرية لم تكن متمثلة فى الصخور الرسوبية (شكل 19 ـ 9). اما **اللاتوافق الانقطاعى** فهو صعب التعرف عليه حيث تتوازى الطبقات الموجودة على جهتى عدم التوافق. ويمثل اللاتوافق الانقطاعى اما فترة عدم الترسيب أو فترة تعرية.

وبتطبيق مبدأ التأريخ النسبى للمقطع الجيولوجى الافتراضى المبين بشكل 19 ـ 10 بالامكان وضع الصخور والحوادث التى تمثلها فى التاريخ الجيولوجى فى موضعها

التسلسلى الصحيح. وتلخص العبارات التالية المفهوم المستعمل لتفسير المقطع:

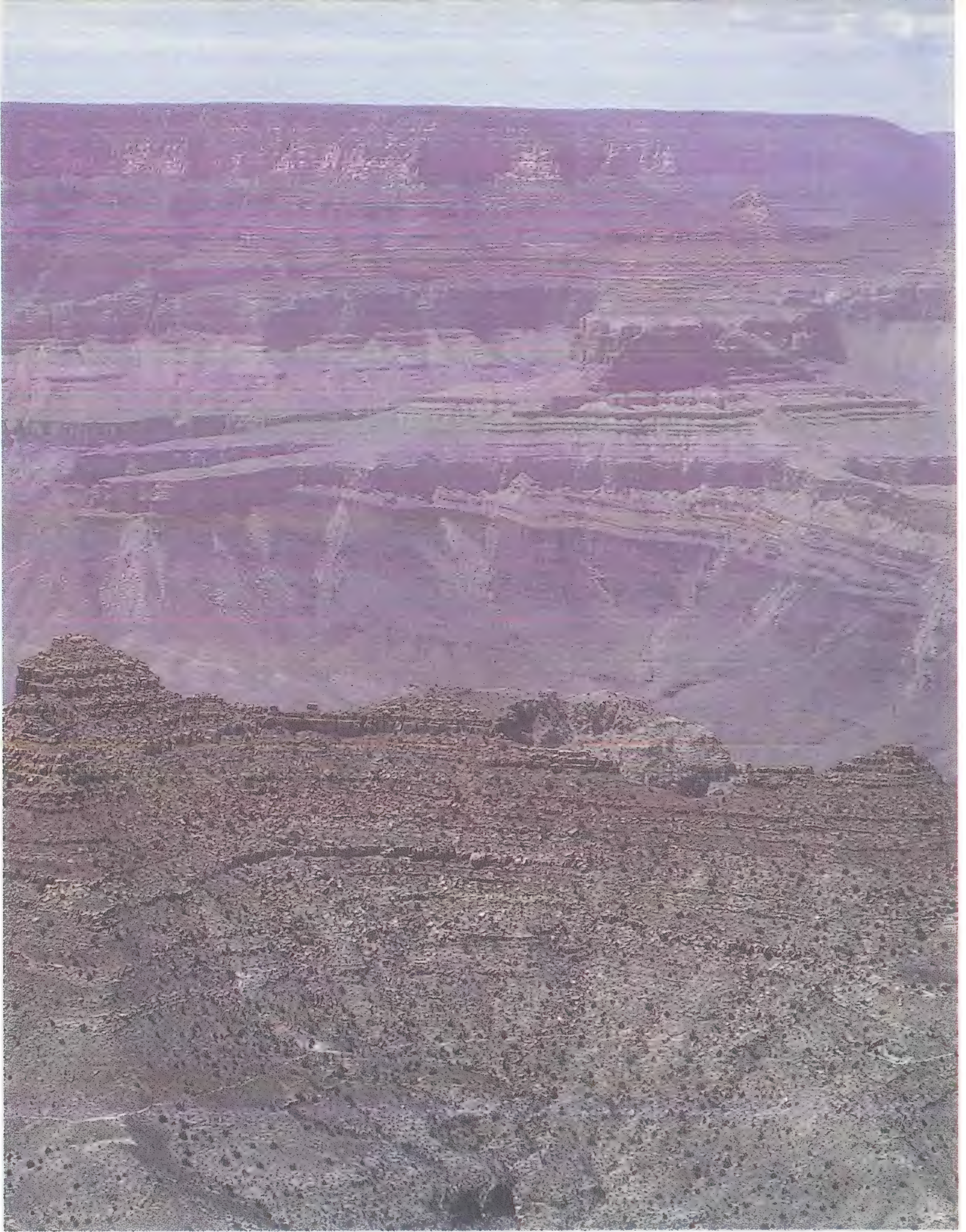
1 ـ بتطبيق قانون التعاقب، فان الطبقات أ، ب، جـ، ترسبت حسب هذا الترتيب. وحيث ان الطبقة (د) هى عبارة عن جذة موازية (اقتحامات نارية متوافقة)، فهى احدث الطبقات التى تم اقتحامها. والدليل الآخر على ان الجذة الموازية احدث من الطبقات جـ، هـ، هو وجود الشوائب الدخيلة من هذه الطبقات فى صخور الجذة الموازية. فاذا ما احتوى الجسم النارى شوائب من الصخور الماحية، فلا بد وان هذه الصخور المحيطة وجدت هناك اولا.

2 ـ بعد اقتحام الجذة الموازية (د)، اقتحمت الجذة القاطعة (و). وحيث ان الجذة القاطعة اخترقت الطبقات أ، و، اذا فلا بد وانها احدث منها جميعا.



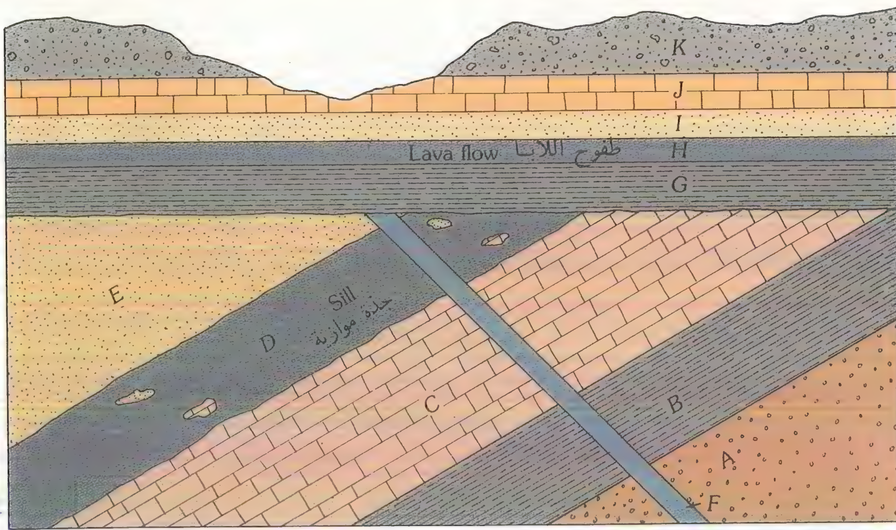
شكل 19 ـ 8

تطور عدم التوافق. (أ) ـ مثالين من عدم توافق زاو. (ب) ـ التعرية أدت الى لا توافق متوازى. وفى كل حالة نتج انقطاع فى تسلسل تعاقب الصخور.



شكل 19 ـ 9

عدم توافق زاو كما نراه بمنتزه الأخدود الكبير ونشاهد هنا الطبقات المائلة والمقطوعة لصخور ما قبل الكمبرى مترسبة فوقها طبقات افقية لصخور الباليوزى.



شكل 19 ـ 10

مقطع جيولوجى لمنطقة افتراضية.

16.6 km كم
5.6 km كم

Jack's Creek
Rattler Gulch
Fremont Ranch

Rattler Formation

Pink Rim Limestone

Sandstone: yellow, massive
Sandstone: gray-green, shaley
Sandstone: yellow, massive
Shale: red, sandy, fissile
Sandstone: white, massive
Sandstone: interbedded with gray shale
Sandstone: white, rounded grains
Limestone: pink, massive
Limestone: fossil bearing
Limestone: pink, massive
Cherty limestone: pink, platy
Limestone: pink, blocky

متر 6 meters
0
Vertical scale مقياس رسم عمودى

شكل 19 ـ 11

مضاهاة للطبقات بمنطقة محدودة.

3 ـ بعد ذلك، مالت الصخور وتعرضت للتعرية. ونعرف بأن الميلان قد حدث اولا اذ ان الاجـزاء المرفوعـة من الطبقات تعرضت للتعرية وتلى الميلان والتعرية، ترسبات اخرى نجم عنها عدم توافق زاو.

4 ـ ترسبت الطبقات ر، ز، ط، ك، ل، بالترتيب. حسب قانون التعاقب ومع ان طفح اللابا (ز) لم تكن صخرا رسوبيا فلقد تراكمت على السطح مما يمكن من تطبيق قانون التعاقب عليها ايضا.

5 ـ واخيرا يشير عدم انتظام السطح وذوبان مجارى المياه على وجود ثغرة اخرى فى السجل الصخرى قد نتجت عن التعرية.

وقد كان الهدف من المثال السابق هو ترسيخ سلم زمنى نسبى للصخور والاحداث فى موقع هذا القطاع. تذكر، بأنه ليس لدينا اية فكرة عن عدد سنوات تاريخ الأرض المتمثلة هنا ولا عن اعمار الطبقات فى هذه المنطقة مقارنة بأية منطقة اخرى.

المضاهـاة

لكى نصل الى تقويم جيولوجى عملى قابل للتطبيق فى جميع ارجاء الأرض، فلا بد من مقارنة الصخور بالمناطق المختلفـة ذات العمـر الواحـد. ويشـار الى هذا العمـل **بالمضاهاة**. وفى منطقة محدودة هنـاك العـديد من الطـرق لمضاهاة الصخور من موقع لآخر. ويمكن ببساطة تتبع طبقة أو مجموعة من الطبقات وذلك بالمشى محاذيا لامتداد حافة الطبقات المتكشفة. الا ان ذلك، قد لا يكون متيسرا عند عدم استمرارية الطبقة، وغالبا ما تتم المضاهاة عبر مسافة قصيرة بملاحظة موقع الطبقـة داخـل التتابـع الصخـرى. وبالامكان التعرف على الطبقة فى موقع آخر اذا ما كانت تتكون من معادن مميزة (شكل 19 ـ 11). وبمقارنة الصخور من مكان الى آخر، يمكن اكتساب فكرة اشمل عن التاريخ الجيولوجى للمنطقة. ويمثل شكل 19 ـ 12 مضاهاة طبقات بعدة مناطق واقعة بمرتفع كولورادو حيث لا يوجد موقع واحد يعرض تتابعا متكاملا للطبقات الا ان المضاهاة تعمل على اظهار الامتداد الكلى للصخور الرسوبية.

وتعمل معظم الدراسات الجيولوجية على الاهتمام بمناطق صغيرة ومع اهمية هذه الدراسات فى ذاتها الا ان اهميتها القصوى لا تظهر الا عند مضاهاتها بمناطق اخرى. ومع ان الطرق المذكورة اعلاه قد تكون كافية لتتبع تكوين صخرى لمسافات قصيرة، فهى غير كافية لربط الصخور ببعضهـا لمسافات ابعد. وعندما يكون الهدف هو المضاهاة بين مناطق متباعدة او بين القارات فانه لا بد للجيولوجى من الاعتماد على المستحاثات.

وبالرغم من ان وجود المستحاثات كان معروفـا منذ قرون، الا ان اهميتها كوسيلة جيولوجية لم يتم التوصـل اليها حتى اواخر القرن الثامن عشر واوائل القرن التاسع عشر. وخلال هذه الفترة اكتشف مهندس القنوات ويليام سمث بأن كل من التكوينات الصخرية فى القنوات تحتوى على مستحاثات تختلف عن تلك التى اعلاها او اسفلها. وابعد من ذلك لاحظ ان الطبقات الرسوبية التى تفصلها مسافات كبيرة يمكن التعرف عليها عن طريق محتوياتها من المستحاثات المميزة. بناء على ملاحظـات سمـث التقليدية وعلى اكتشافات العديد من الجيولوجيين الذين تبعوه. فلقد ترسخ أحد أهم المبادىء الاساسية للجيولوجيا التاريخية، وهو ان الكائنات المستحاثة تتعاقب حسب ترتيب معلوم ومحدد يعقب بعضه بعضا، وبالامكان التعرف على اى فترة زمنية بواسطة محتوياتها من المستحاثات. واصبح ذلك معروفا **بمبدأ تعاقب الاحياء**. وبصورة اخرى عندما ترتب المستحاثـات حسب اعمارها، فهى لا توضح صورة عشوائية. وعلى عكس ذلك فهى توضح تغيرًا تقدميا من البسيط الى الأكثر تعقيدا وتبين تطور الحياة مع الزمن.

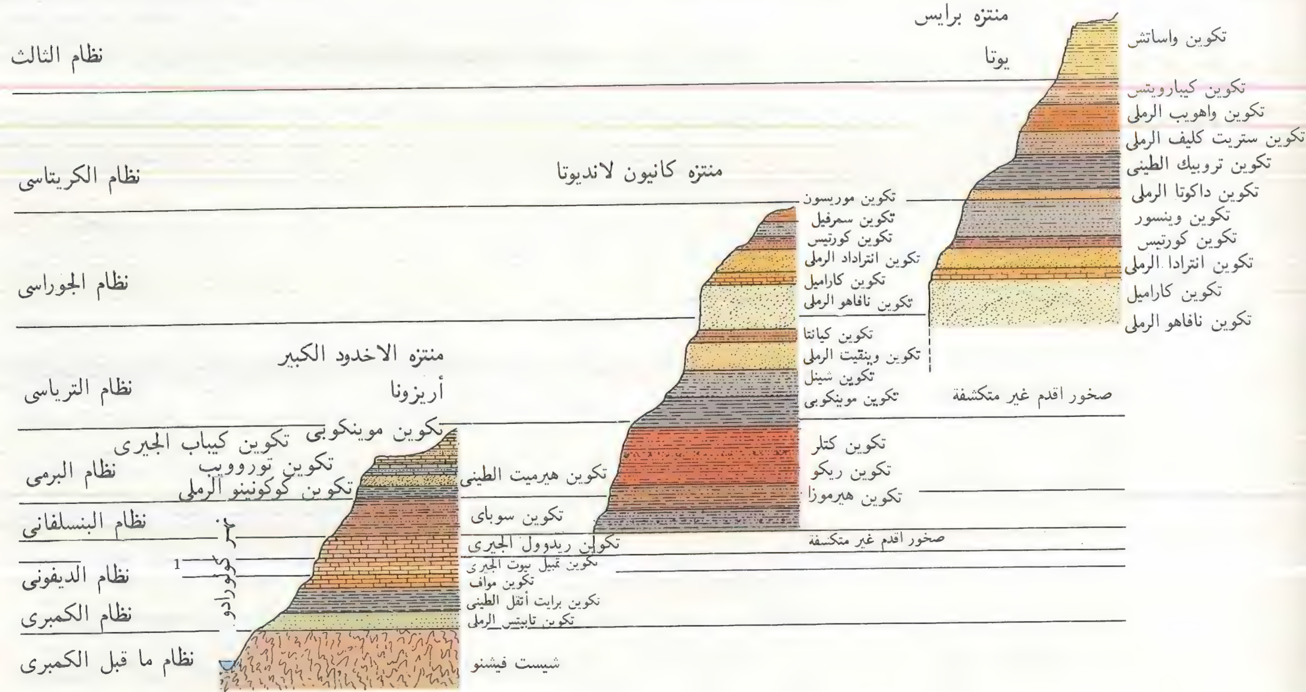
فمثلا تم التعرف على عمر ثلاثيات الفصوص فى وقت مبـكر من السجـل الاحاثـى. وبعـد ذلك تعـرف علماء

المستحاثات على زمن الأسماك وزمن مستنقعات الفحم وزمن الزواحف وزمن الثدييات. هذه الأزمنة تتعلق بمجموعات وفيرة ومميزة لفترات زمنية معينة. وخلال كل من هذه الأزمنة توجد تقسيمات كثيرة مبنية على بعض الانواع من ثلاثيات الفصوص مثلا وبعض الانواع من الأسماك والزواحف وهكذا. وهذا التعاقب للكائنات السائدة لن ينتهى، فهو يوجد فى كل كتلة ارضية كبيرة.

وحيث ان المستحاثات قد وجدت بأنها دالة على الأعمار، فلقد اصبحت وسيلة مفيدة جدا للتعرف على الزمن، واصبحت اكثر الوسائل فائدة لمضاهاة الصخور ذات الأعمار المتساوية فى المناطق المختلفة. ويعطى الجيولوجيون اهمية خاصة **للمستحاثات الدالة**. وحيث ان هذه المستحاثات ذات انتشار واسع جغرافيا ولها مدلول لزمن جيولوجى قصير، يعطيها اهمية المطابقة حيث ان وجودها يعطى وسيلة هامة لمقارنة الصخور ذات العمر الواحد. الا ان التكوينات الصخرية لا تحوى دائما مستحاثات دالة. وفى مثل هذه الحالات تستعمل مجموعة من المستحاثات لمعرفة عمر الطبقة. ويوضح شكل 19 ـ 13 كيفية استعمال مجموعة من المستحاثات لتأريخ الصخور بأكثر دقة من استعمال مستحاثة واحدة.

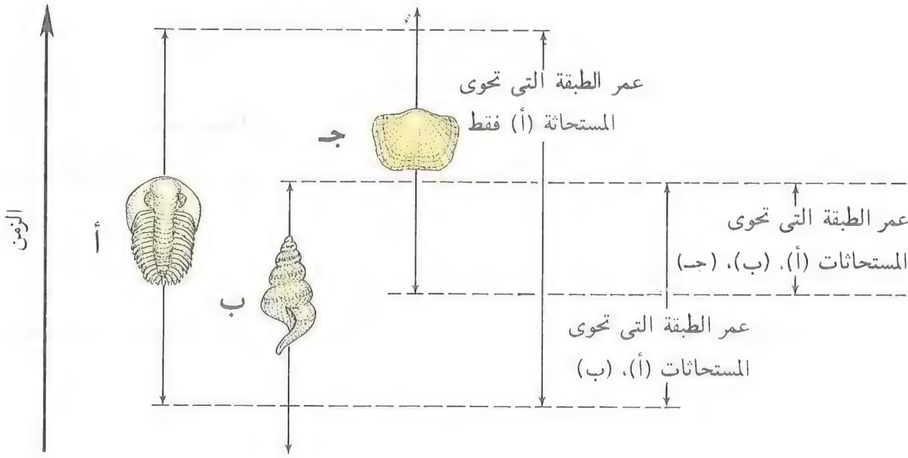
التقويم الجيولوجى

لقد تم تقسيم كل التاريخ الجيولوجى الى وحدات مختلفة والتى مع بعضها تكون تقويم تاريخ الأرض (شكل



شكل 19 ـ 12

مضاهاة الطبقات بثلاثة مواقع فى منطقة مرتفع كولورادو مبينة امتداد الصخور لتلك المنطقة.



شكل 19 ـ 13
يساعد تداخل نطاقات المستحاثات فى تأريخ الصخور بدلا من استعمال مستحاثة واحدة.

19 ـ 14). ولقد تم تحديد الوحدات الرئيسية للتقويم وذلك خلال القرن التاسع عشر، بواسطة العاملين فى اوروبا الغربية وبريطانيا. وحيث ان التأريخ المطلق لم يكن حقيقة واقعة ذلك الوقت فان التقويم بكامله قد استحدث باستعمال طرق التأريخ النسبى. ولم تتم اضافة التواريخ المطلقة للتقويم الا مؤخرا.

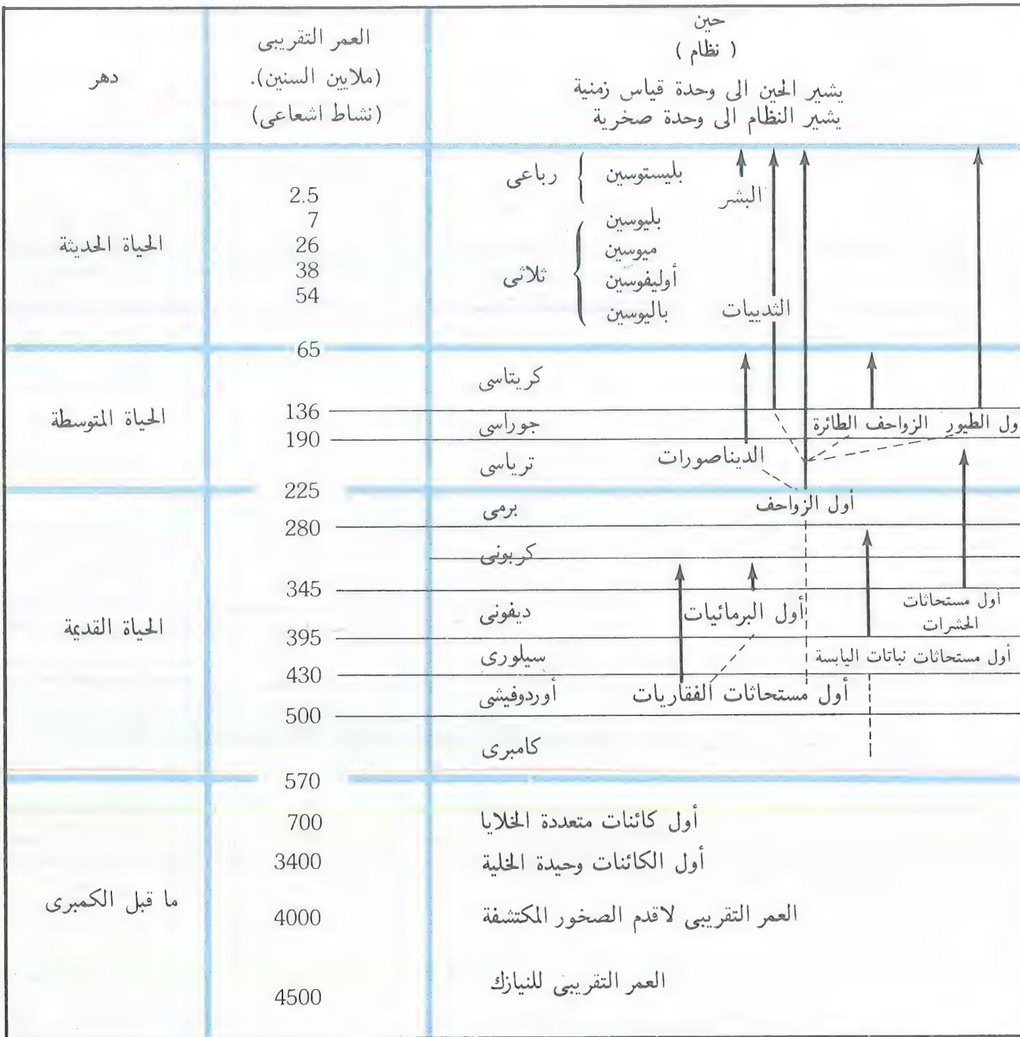
وبمعاينة شكل 19 ـ 14 يمكنك مشاهدة ان اكبر التقسيمات للتقويم الجيولوجى تسمى **بالدهور**. وهناك ثلاثة دهور معروفة حاليا: **(دهر الحياة القديمة)**، **(دهر الحياة المتوسطة)**، **(دهر الحياة الحديثة)**. وكما تدل التسميات، فان الدهور تحدد على اساس تغيرّات كبيرة للكائنات الحية شملت انماط الحياة حول العالم. ويشمل دهر الحياة القديمة سبعة وحدات زمنية تسمى **احينة**، ودهر الحياة المتوسطة ثلاثة منها أما دهر الحياة الحديثة فيشمل حينين.

وحيث اننا نعيش الآن فى دهر الحياة الحديثة، فقد تستحدث احينة اخرى قادمة. ويتميز كل حين بتغييرات اقل عمقا للانماط مقارنة بالدهور. ويبين الجدول 19 ـ 2 التغيرّات الاساسية مع شرح مختصر لكل منها. وفى النهاية فلقد تم تقسيم كل من الأحينة الاثنى عشر الى تقسيمات اصغر سميت **بالعصور**. وباستثناء العصور السبعة التى شملتها احينة دهر الحياة الحديثة فتلك التابعة للأحينة الاخرى لم يتم تقسيمها بعد.

لاحظ ان تفاصيل التقويم الجيولوجى لا تبدأ الا عند 600 مليون سنة خلت، وهو تاريخ بداة اول حين بدهر الحياة القديمة الا وهو حين الكامبرى.

والأربعة بلايين سنة التى سبقت بداية الكامبرى سميت ببساطة **بدهر ما قبل الكمبرى**. لماذا لم يتم تقسيم ما قبل الكامبرى الى دهور واحينة، وعصور؟ السبب هو ان تاريخ ما قبل الكامبرى لم يكن معروفا بالتفصيل الكافى. وما وجد من معلومات للانسان عن تاريخ الأرض القديم شبيه الى حد ما بتفاصيل تاريخ الانسان. فكلما ابتعدنا اكثر الى الماضى كلما قلت معرفتنا.

وبالتأكيد فان المعلومات التى تمت معرفتها خلال العشر سنوات الماضية تفوق ما تمت معرفته فى العقد الأول من القرن العشرين، وحوادث القرن التاسع عشر تم توثيقها احسن بكثير من حوادث القرن الأول الميلادى وهكذا ونفس الشىء بالنسبة لتاريخ الأرض. فالزمن اقرب من الحاضر هو الأقل اضطرابا، والحاوى لسجل اكثر وضوحا. وكلما زاد الزمن الجيولوجى قدما كلما زاد سجله ودلائله تشتتا.



شكل 19 ـ 14

التقويم الجيولوجى. وقد تمت إضافة الزمن المطلق اخيرا وذلك بعد ترسيخ التقويم باستعمال طرق الزمن النسبى.

وهناك اسباب اخرى تفسر غياب السلم الزمنى المفصل للجزء الأكبر من التاريخ الأرضى:

1 ـ وفرة المستحاثات لم تبدأ فى السجل الجيولوجى حتى بداية الحقب الكامبرى. فقبل الكامبرى كانت انماط الحياة بسيطة مثل الطحالب والبكتيريا والفطريات والديدان والاسفنجيات. كل هذه الكائنات افتقرت للأجزاء الصلبة والتى هى اساسية للاستحاثة. وعليه فهناك سجل احاثى فقير جدا لفترة ما قبل الكامبرى. وقد تمت دراسة الكثير من تكشفات صخور ما قبل الكامبرى ببعض من التفصيل. الا أن مضاهاتها كانت عسيرة فى غياب المستحاثات وعليه فلا يوجد اتفاق عام على تقسيمات ما قبل الكامبرى.

جدول 19 ـ 2

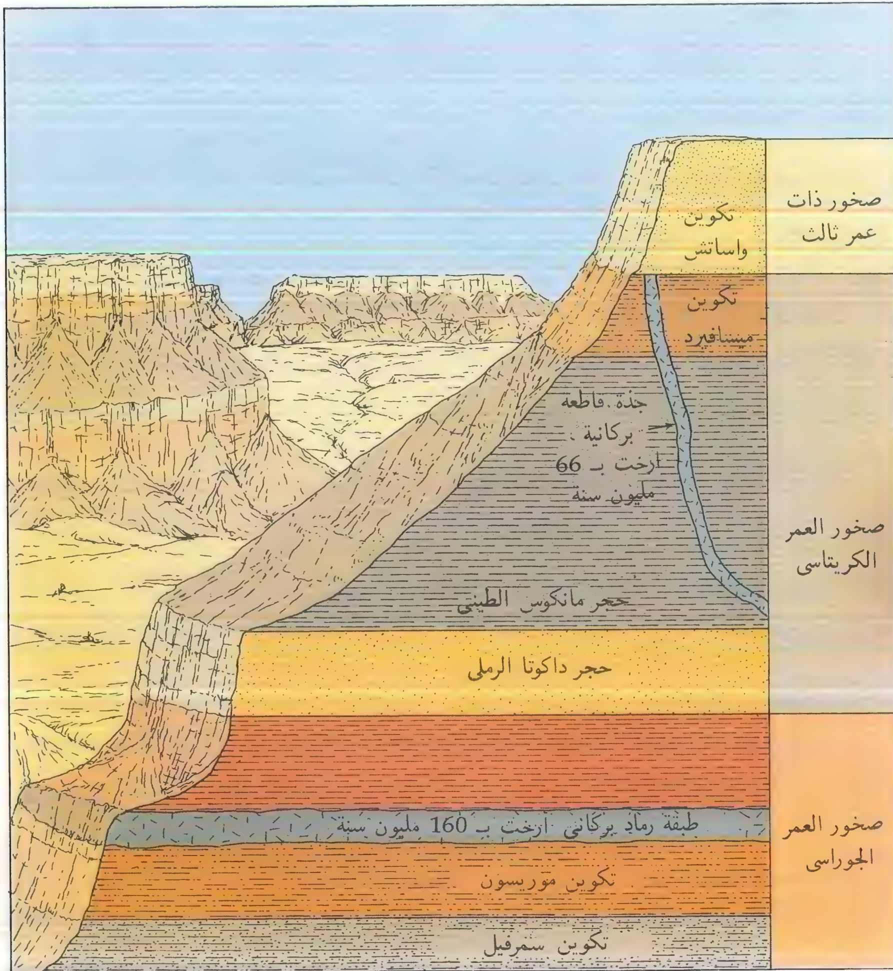
التقسيمات الرئيسية للزمن الجيولوجي

الدهر السينوزوى (دهر الحياة الحديثة)	الحين الرباعى	لقد سميت الدهور الجيولوجية فى السابق بدائى، ثانوى ثلاثى ورباعى. ولقد تم الاستغناء عن الاسمين الاولين. أما الثلاثى والرباعى فقد تم الاحتفاظ بهما كأسماء لأحينة.
	الحين الثلاثى	
الدهر الميسوزوى (دهر الحياة الوسيطة)	الحين الكريتاسى	مشتقة من كلمة طباشير باللاتينى، واستعملت لاول مرة للصخور البيضاء المتكشفة على طول القناة الانجليزية.
	الحين الجوراسى	سميت عن جبال الجورا الواقعة بين فرنسا وسويسرا حيث درست الصخور الحاملة لهذا العمر لأول مرة.
	الحين الترياسى	أخذت عن الكلمة «trias» وتعنى ثلاثى إعترافا بالخصائص الثلاثية لهذه الصخور بأوروبا.
الدهر الباليوزوى (دهر الحياة القديمة)	الحين البرمى	سميت عن الاقليم البرمى بالاتحاد السوفييتى حيث درست هذه الصخور لأول مرة
	الحين البنسلفانى	سميت عن ولاية بنسلفانيا حيث استخرجت كميات هائلة من الفحم من هذه الصخور.
	الحين المسيسيبى	سميت عن منطقة نهر المسيسيبى حيث تكشفت هذه الصخور.
	الحين الديفونى	سميت عن مقاطعة ديفونشاير الانجليزية حيث درست هذه الصخور لأول مرة.
	الحين السيلورى	أخذت التسمية عن القبائل السَّلتية التى عاشت بويلز خلال خضوعها للحكم الرومانى وهى قبائل السيلور والاردوفيشى
	الحين الأردوفيشى	
	الحين الكمبرى	اشتق الاسم من الرومانية لمنطقة ويلز (كامبريا) حيث درست لاول مرة اقدم منطقة بها بقايا كائنات حية معقدة التركيب.
ما قبل الكمبرى		الزمن ما بين مولد الكوكب (الارض) وظهور كائنات حية معقدة. ويقع اكثر من 80 % من عمر الأرض المقدر بحوالى 4.6 بليون سنة ضمن هذا الدهر من الزمن.

2 ـ نظرا لقدم صخور ما قبل الكامبرى، فان الكثير منها قد تعرض لتغيّرات كبيرة جدا. وجلّ السجل الصخرى لما قبل الكامبرى مكون من صخور متحولة شديدة التشكّل. مما يصعب معه استقراء ظروف ترسيبها، حيث ان الكثير من الأدلة الموجودة عادة فى الصخور الرسوبية قد تغيرت. وبتطور طرق التأريخ الاشعاعى فان حل مشكل التأريخ والمضاهاة لصخور ما قبل الكامبرى اصبح فى متناول اليد. الا ان تبسيط سجل ما قبل الكامبرى المعقد ما زال بعيد المنال.

الصعوبات في تأريخ التقويم الجيولوجى

بالرغم من دقة التواريخ المطلقة المعمول بها لعصور التقويم الجيولوجى شكل 19 ـ 14 الا ان هذا العمل لا يخلو من الصعوبات. واول ذلك فى تعيين التاريخ المطلق للوحدات الزمنية تتلخص فى ان العناصر المشعة محددة فى الصخور النارية فقط. وحتى عند وجود معدن مشع ضمن رسوبيات الصخر الفتاتى فانه لا يمكن تأريخ هذا الصخر، حيث ان الحبيبات فى الصخر الرسوبى الفتاتى لا تحمل



شكل 19 ـ 15

يتم تعيين الزمن المطلق لطبقات الصخور الرسوبية وذلك بمعاينة علاقتها بالصخور النارية.

نفس عمر الصخر الموجودة به. فالرسوبيات المكونة لذلك الصخر قد تكون ناتجة عن تجوية صخور ذات اعمار مغايرة. وعليه فان عمر معدن لصخر رسوبي يمكن ان يخبرنا فقط بأن ذلك الصخر لم يكن اقدم عمرا من المعدن.

ومن جهة اخرى فانه فى الصخور النارية يتكون الصخر والمعادن فى وقت واحد، وعمر المعدن الحامل للنظائر المشعة هو نفس عمر الصخر. وعليه فلكى يتم تأريخ الطبقات الرسوبية فلا بد للجيولوجى ان يربطها بالكتل النارية، كما هو مبين فى الشكل 19 ـ 15 . فى هذا المثال اعمار كل من طبقة الرماد البركانى المتخللة تكوين موريسون والجذة القاطعة التى تقطع تكوين طفل مانكوس، وتكوين ميزافيرد معروفة. اما الطبقات الرسوبية تحت الرماد فهى بالتأكيد اقدم منه، وكل الطبقات التى اعلى الرماد احدث منه. والجذة القاطعة احدث من تكوين طفل مانكوس، وتكوين ميزافيرد الا انها اقدم من تكوين واساتش حيث ان الجذة القاطعة لا تتخلل صخور الحقب الثالث. من هذا النوع من الادلة، يقدر الجيولوجيون بأن جزءا من تكوين موريسون ترسب حوالى 160 مليون سنة خلت كما تبين من طبقة الرماد. واكثر من ذلك فانهم استطاعوا ان يستنتجوا بأن بداية الحين الثالث قد بدأت بعد تداخل الجذة القاطعة، حوالى 66 مليون سنة خلت. وهذا احد آلاف الامثلة التى يمكنها ان تبين كيفية استعمال المواد فى تاريخ الاحداث المختلفة فى تأريخ الأرض خلال ازمنة محددة، ويبين ضرورة ربط طرق التأريخ المعملية بالمعلومات الجيولوجية.

أسئلة للمراجعة :

1 ـ صف طريقتين قديمتين لتأريخ الأرض. ما هو عمر الأرض المعتقد حسب تلك التقديرات؟ عدد نقاط الضعف لكل طريقة.

2 ـ اذا كانت النظائر المشعة للثوريوم (عدد ذرى 90 ، عدد كتلى 232)، تطلق 6 جسيمات الفا، 4 جسيمات بيتا خلال التحلل الاشعاعى، فما هو العدد الذرى والعدد الكتلى للمادة الوليدة الناتجة والثابتة؟

3 ـ لماذا نعتبر أن التأريخ الاشعاعى هو أكثر الطرق فعالية لتأريخ الماضى الجيولوجى؟

4 ـ نظير اشعاعى افتراضى بعمر نصفى 10,000 سنة. فاذا كانت نسبة المادة المشعة الاصل الى المادة الوليدة الثابتة هى 1 : 3 ، فما هو عمر الصخر المحتوى للمواد المشعة؟

5 ـ افرض ان عمر الأرض هو 5 بليون سنة:

أ ـ فما هو الجزء الموثق تاريخيا من الزمن الجيولوجى (بافتراض أن 5000 سنة للتأريخ الموثق)؟

ب ـ لم يظهر أول اثر أحاثى ظاهر حتى بداية الحقب الكمبرى (600 مليون سنة خلت). ما هى نسبة الزمن الجيولوجى المدلل بوجود المستحاثات؟

6 ـ ميز بين الزمن النسبى والزمن المطلق .

7 ـ ما هو قانون التعاقب؟ كيف تستعمل علاقة التقاطع فى التأريخ النسبى؟

8 ـ عندما تشاهد طبقات رسوبية متكشفة شديدة الميلان ، ما هو المبدأ الذى يسمح لك بافتراض أن الطبقات قد مالت بعد ترسبها؟

9 ـ ماذا تعنى عبارة المضاهاة؟

10 ـ صف مساهمة وليام سمث الهامة لعلم الجيولوجيا .

11 ـ ما هى اهمية المستحاثات كوسائل للمضاهاة؟

12 ـ ما هى التقسيمات التى تكون التقويم الجيولوجى؟

13 ـ لماذا لم يتم تقسيم زمن ما قبل الكمبرى الى وحدات اصغر؟

14 ـ صف باختصار صعوبات تعيين الزمن المطلق للصخور الرسوبية .

الكلمات الدالة :

الزمن المطلق	absolute date
النشاط الاشعاعى	radioactivity
الأصل	parent
التأريخ الاشعاعى	radiometric dating
التأريخ النسبى	relative dating
الكربون المشع	radiocarbon
دهـر	Era
دهر الحياة الحديثة	Cenozoic Era
دهر الحياة القديمة	Paleozoic Era
دهر الحياة المتوسطة	Mesozoic Era
حين	Period
عدم توافق	unconformity
عدم توافق زاوىّ	angular unconformity
قانون التعاقب	law of superposition
مادة وليدة	daughter product
ما قبل الكامبرى	Precambrian
مبدأ تعاقب الأحياء	principle of faunal succession
مبدأ التأفق المبدئى	original horizontality
متوافق	conformable
مستحاثة دالة	index (guide) fossil
مضاهاة	correlation

20



جيولوجيــة الكــواكب


20

الكواكب: نظرة مقتضبة

اصل وتطور الكواكب

- القمر
- سطح القمر
- تاريخ القمر

عطارد: الكوكب الواقع فى اقصى الداخل

الزهرة: الكوكب المقنع

المريخ: الكوكب الأحمر

المشترى: كبير الكواكب

- تركيب المشترى
- اقمار المشترى

زحل: الكوكب الأنيق

- حلقات زحل
- اقمار زحل

اورانوس ونبتون التوأمان

بلوتو: الكوكب الغامض أو المجهول

الاعضاء الثانوية فى المجموعة الشمسية:

- الكويكبات السيارة
- المذنبات
- النيازك

الشمس هى محور النظام الضخم الدوار والمحتوى على تسعة كواكب بأقمارها والعديد من الاجسام تستحق الاهتمام وذلك بالرغم من صغر حجمها، والتى تشمل الكويكبات السيارة والمذنبات والشهب. وتحوى الشمس ما يقارب 99.85% من كتلة المجموعة الشمسية، فى حين تحوى الكواكب اغلب نسبة 0.15% الباقية. وترتيب الكواكب ابتداء من ناحية الشمس كالتالى: عطارد ـ الزهرة ـ الأرض ـ المريخ ـ المشترى ـ زحل ـ اورانوس ـ نبتون ـ وبلوتو. وبفعل قوة الجاذبية الشمسية، يحافظ كل كوكب على مدار دائرى تقريبا، ويتحرك حول الشمس فى اتجاه عكس عقرب الساعة. اضافة الى ذلك فان مدارات كل الكواكب تقع على مستوى اقل من 3 درجات من خط الاستواء الشمسى، عدى مدارات عطارد وبلوتو التى تميل بمقدار 17.7 درجة على التوالى.

وقد بدأ اهتمام الانسان كبيرا بالكواكب عندما عرف ولاول مرة بأن كلا من هذه الكواكب هى عبارة عن «عوالم» مثل الأرض. ولقد كان الاهتمام منصبا على احتمال وجود حياة متطورة فى مكان آخر بالكون وما زال هذا الاحتمال قائما حتى الآن وحيث ان كل الكواكب قد تكونت من سحابة بدائية من الغبار والغازات، فمن المفروض أن تزودنا هذه الكواكب ببيانات قيمة عن تاريخ الأرض. ولقد نظمت الابحاث الفضائية أخيرا مع الأخذ فى الاعتبار هذا الهدف. ويتم اليوم استكشاف عطارد والزهرة والمريخ والمشترى وزحل والقمر بمركبات فضائية، ومن المتوقع أن يقترب فويجر 2 من كوكب أورانوس سنة 1986 م.

زحل مصور على بعد 18 مليون كيلومتر بواسطة المركبة فويجر 1 .

الكواكب: نظرة مقتضبة

بنظرة جدية للجدول 20 ـ 1 يتبين أن الكواكب تنقسم انقساما واضحا الى مجموعتين: **الكواكب الصخرية** (الشبيهة بالأرض) وهى عطارد والزهرة والأرض والمريخ **والكواكب الغازية** (الشبيهة بالمشترى) وهى المشترى وزحل وأورانوس ونبتون. أما بلوتو فلا يندرج تحت أى من المجموعتين، وموقعه فى الزاوية البعيدة من المجموعة الشمسية، وحجمه الصغير قد جعل طبيعته الحقيقية غامضة. وأهم فرق واضح بين هذه المجموعات هو حجم أعضائها. فأكبر كوكب ارضى (الأرض) له قطر لا يتعدى ربع قطر أصغر كوكب من الكواكب الغازية (نبتون) ولا تتعدى كتلته فقط من نفس الكوكب. وعليه فان الكواكب الغازية عادة ما تسمى بالعمالقة. واضافة الى ذلك فانه نتيجة لموقعها

جدول 20 ـ 1

بيانات عن الكواكب

سرعة الدوران		زاوية الميل حول المدار الشمسى	فترة الدوران حول الشمس	متوسط البعد عن الشمس			الرمز	الكوكب
كم/ثانية	ميل/ثانية			ملايين الكيلومترات	ملايين الأميال	AU		
47.9	29.5	7° 00′	88 يوم	58	36	0.387	☿	عطارد
35.0	21.8	3° 24′	225 يوم	108	67	0.723	♀	الزهرة
29.8	18.5	0° 00′	365.25 يوم	150	93	1.000	⊕	الأرض
24.1	14.9	1° 51′	687 يوم	228	142	1.524	♂	المريخ
13.1	8.1	1° 19′	12 سنة	778	483	5.203	♃	المشترى
9.6	6.0	2° 30′	29.5 سنة	1427	886	9.539	♄	زحل
6.8	4.2	0° 46′	84 سنة	2869	1789	19.180	♅	أورانوس
5.4	3.3	1° 46′	165 سنة	4498	2790	30.060	♆	نبيتون
4.7	2.9	17° 12′	248 سنة	5900	3670	39.440	♇	بلوتو

عدد الأقمار المعروفة	الاختلاف المركزى	تسطح القطبى %	الكتلة الكتلة (جرام/سم^3)	فترة الدوران النسبية (الأرض = 1)	القطـــر		حول نفسه	الكوكب
					كيلومترات	أميال		
0	0.206	0.0	5.1	0.056	4878	3015	59 يوم	عطارد
0	0.007	0.0	5.3	0.82	12.112	7526	243 يوم	الزهرة
1	0.017	0.3	5.52	1.00	12.742	7920	23س. 56 د. 04 ث.	الأرض
2	0.093	0.5	3.94	0.108	6800	4216	24 س. 37 د. 23 ث.	المريخ
15	0.048	6.5	1.34	318,000	143,000	88,700	~ 9 س. 50 د.	المشترى
17	0.056	10.5	0.70	95,200	121,000	75,000	~ 10 س. 25 د.	زحل
5	0.047	7.0	1.55	14,600	47,000	29,000	10 س. 45 د.	أورانوس
2	0.008	2.5	2.27	17,300	45,000	28,900	18 س. (؟)	نبيتون
1	0.250	؟	1.5 (؟)~	0.01 (؟) ~	~ 2400	~1500	6.4 يوم	بلوتو

النسبى فلقد سميت الكواكب الغازية الأربعة بالكواكب الخارجية فى حين سميت الكواكب الصخرية بالكواكب الداخلية. وسوف نرى بأنه هناك علاقة بين مواقع هذه الكواكب وبين أحجامها.

والابعاد الأخرى التى تختلف فيها المجموعتان اختلافا ملحوظا تشمل كلا من الكثافة والتركيب ومعدل الدوران. ويبلغ متوسط كثافة الكواكب الصخرية حوالى خمس مرات كثافة الماء، فى حين يبلغ متوسط كثافة الكواكب الغازية 1.5 من كثافة الماء فقط. وأحد الكواكب الخارجية وهو زحل وتبلغ كثافته 0.7 فقط من كثافة الماء، وهذا يعنى انه لو توفر محيط بحجم كاف لتمكن زحل من الطفو فوقه. وتعزى هذه الاختلافات غالبا الى التباين فى تكوينات هذه الكواكب.

ويمكن تقسيم المواد التى تكوّن المجموعتين من الكواكب الى ثلاثة أنماط وذلك بناء على درجة انصهار كل منها. وهى الغازات والصخور والجليد. فالغازات هى تلك المواد التى لها درجة انصهار قريبة من الصفر المطلق أى 273 درجة مئوية تحت الصفر. وتحتوى على الهيدروجين والهيليوم. وتجدر الاشارة هنا الى أن الصفر المطلق هو أقل درجة حرارة يمكن الوصول اليها. وتتوقف عندها حركة كل الجزئيات. اما المواد الصخرية فتتكون عموما من معادن السليكات وفلز الحديد، والتى لها درجة انصهار تفوق 700° م . اما المواد الجليدية فلها درجات انصهار متوسطة وتشمل الامونيا (ن يد$_3$)، الميثان (ك يد$_4$)، ثانى أكسيد الكربون (ك أ$_2$) والماء (يد$_2$ أ). وتتكون الكواكب الصخرية غالبا من مواد كثيفة صخرية وفلزية مع وجود شوائب من الغازات. أما الكواكب الغازية من ناحية أخرى فتحتوى على نسبة كبيرة من الهيدروجين والهيليوم، مع نسب متفاوتة من الجليد (الماء، والامونيا، والميثان)، والتى هى مسئولة عن انخفاض كثافتها. وتحوى الكواكب الخارجية ايضا كميات مماثلة للكواكب الصخرية من الصخور والمواد الفلزية، وقد يكون تركيز هذه المواد فى مناطق لب صغيرة لهذه الكواكب.

وللكواكب الغازية غلاف جوى كثيف جدا مكون من نسب مختلفة من الهيدروجين والهيليوم والميثان والامونيا. وبالمقارنة فان للكواكب الصخرية أغلفة جوية طفيفة فى أحسن الحالات. وتعتمد امكانية أى كوكب فى الاحتفاظ بغلاف جوى على حرارته وكتلته وببساطة فان جزء الغاز يمكن أن «يتبخر» من الكواكب اذا ما وصل سرعة تسمى **سرعة الافلات**. وهذه السرعة بالنسبة للارض تساوى 11 كم فى الثانية وأى مادة بما فى ذلك الصواريخ، لا بد أن تصل الى هذه السرعة قبل مغادرتها الأرض للفضاء الخارجى. ولدى الكواكب الغازية سرعة افلات اكبر من الكواكب الصخرية، وذلك نتيجة لضخامة كتلها، وعليه فان تبخر الغازات منها يواجه صعوبة جمة. بالاضافة الى ذلك فان حركة الجزيئات لأى غاز تعتمد على درجة الحرارة، إذ ان الغازات بما فى ذلك الخفيف منها عند درجة الحرارة الدنيا للكواكب الغازية لن تتمكن من الوصول الى السرعة اللازمة للافلات. ومن جهة أخرى فان الاجسام الساخنة نسبيا وبكتلة صغيرة مثل القمر، لا يمكنها ان تحتفظ حتى بأثقل الغازات، وعليه فهى تفتقر الى غلاف جوى. أما الكواكب الصخرية الاكبر قليلا وهى الأرض والزهرة والمريخ فتحتفظ ببعض الغازات الثقيلة (مقارنة بالهيدروجين) الا ان غلافها الجوى يشكل جزءا متناهيا فى الصغر من كتلتها الاجمالية.

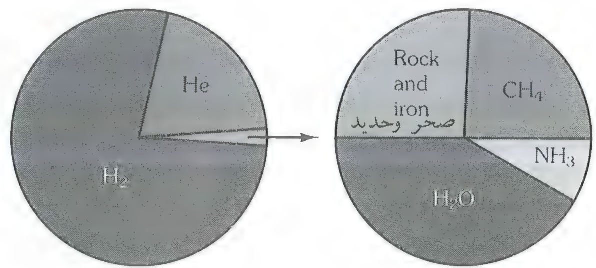
ويعتقد أن مكونات سحابة الغبار والغاز البدائية قد تكثفت لتكوّن كل الكواكب شبيهة بمكونات المشترى، الا انه خلافا للمشترى فان الكواكب الصخرية خالية تقريبا من الغازات الخفيفة والجليد. هل كانت هذه الكواكب الصخرية فى يوم ما أكبر حجما؟ هل احتوت الكواكب هذه المواد وفقدتها نظرا لقربها من الشمس؟ سنناقش فى الجزء التالى تاريخ تطور هاتين المجموعتين المتباينتين من الكواكب فى محاولة للاجابة على هذه الأسئلة.

أصل وتطور الكواكب

ان دوران الكواكب التسعة المنظم فى مدارات حول

الشمس يدفع معظم الفلكيين بأن يستنتجوا بأن الكواكب قد تكونت عموما فى نفس الوقت ومن نفس المواد الاولية المكونة للشمس. ويقترح هذا **الافتراض السديمى** بأن كل أجسام المجموعة الشمسية مكونة من غيوم سديمية كثيفة تتكون تقريبا من 80% هيدروجين و 15% هيليوم ونسبة مئوية صغيرة من كل العناصر الثقيلة المعروفة (شكل 20 ـ 1) والمواد الثقيلة فى هذه الغيوم القارسة المكونة من الغبار والغازات تحتوى عموما على عناصر مثل السليكون والالمونيوم والحديد والكالسيو، وهى المكونات الاكثر شيوعا للمواد الصخرية وتغلب أيضا العناصر المألوفة الاخرى بما فى ذلك الاكسجين والكربون والنيتروجين. وتدل الدراسات الفلكية بأن هذه المواد الاخيرة تواجدت فى شكل مركبات عضوية مختلفة، وعليه فان المواد التى تكونت منها الحياة قد تواجدت قبل تكون المجموعة الشمسية بوقت قصير.

فقبل حوالى 5 مليون سنة خلت ولأسباب لم تفهم بعد ابتدأت هذه السحابة الضخمة المكونة من جزيئات صخرية صغيرة وغازات فى التقلص تحت تأثير جاذبيتها. ويعتقد بأن هذه الكتل المتجمعة من المواد مركب حركة دائرية تزداد سرعتها كلما تقلصت بفعل الجاذبية. وهذا الدوران قد أعطى شكل القرص الدائرى للغيوم السديمية. ومن خلال هذا القرص الدوار هناك تيارات دوامية صغيرة نسبيا هى التى



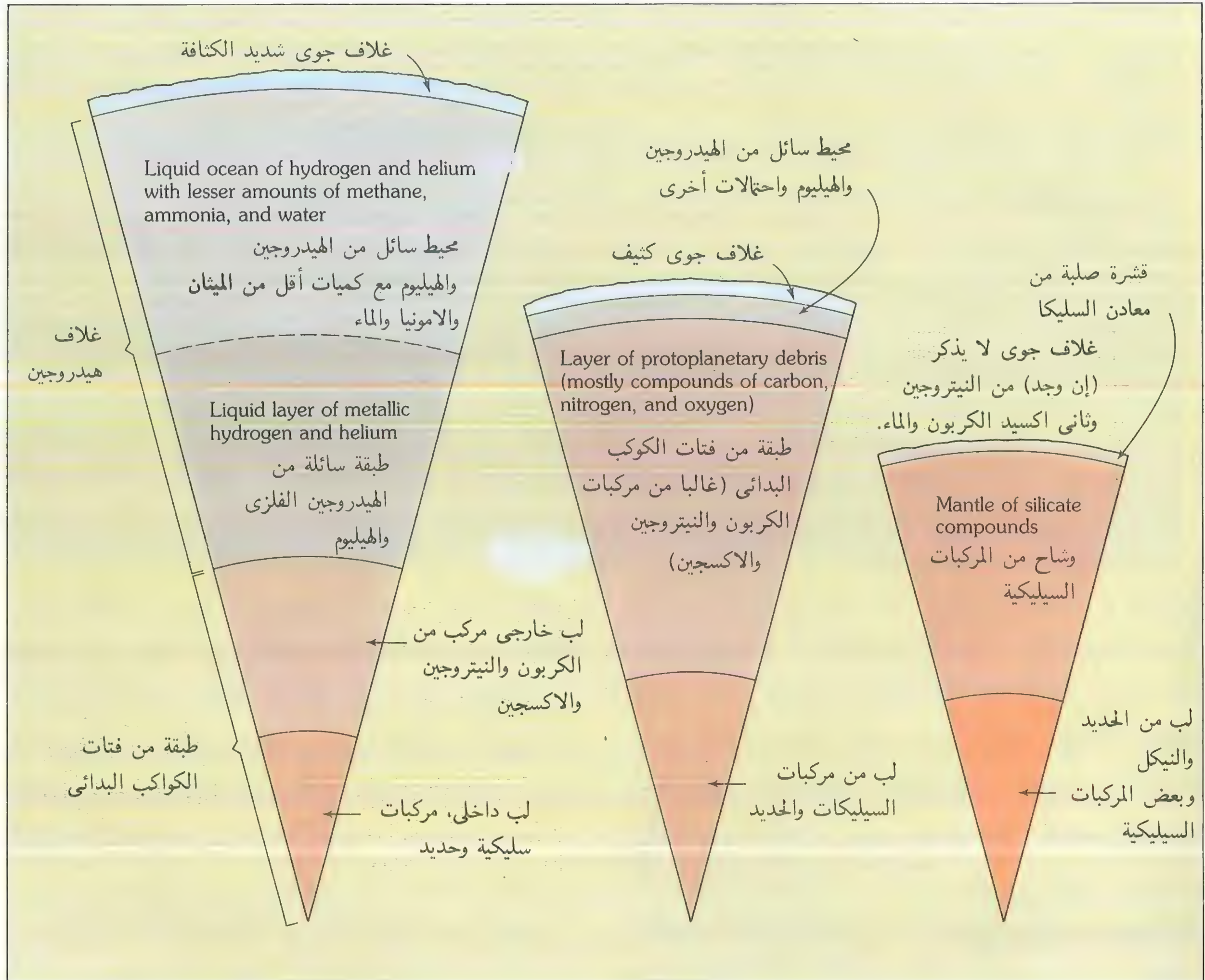
شكل 20 ـ 1
تكوين السحابة الأولية من الغازات والغبار ويعتقد بأن المجموعة الشمسية قد نشأت أو تطورت من هذه السحابة.

كونت نويات للكواكب، الا ان اكثر التقلصات للمواد كانت قد انجذبت الى المركز لتكون **الشمس الاولية**.

وعندما انجذبت هذه الغازات اكثر فأكثر الى الداخل استمر ارتفاع درجة حرارة الكتلة الوسطى، ووصلت درجة حرارة المواد السديمية الواقعة قريبا من الشمس الاولية عدة آلاف من الدرجات وتم تبخرها بالكامل. ومع ذلك عند مسافة أبعد من المريخ ربما بقيت درجات الحرارة منخفضة الى حد كبير وباستمرار. هنا عند درجة 200°ـ م ، كانت جزيئات الغبار فى الغالب مغطاة بطبقة كثيفة من جليد مائى، ومواد جليدية لثانى أكسيد الكربون، والامونيا والميثان، وقد احتوت السحابة القرصية الشكل أيضا على الكثير من الغازات الخفيفة وهى الهيدروجين والهيليوم والتى لم يتم استهلاكها من قبل الشمس الاولية.

وفى فترة قصيرة نسبيا بعد تكون الشمس الاولية انخفضت درجة الحرارة الموجودة فى الجزء الداخلى من السديم انخفاضا كبيرا وسبب هذا الانخفاض فى درجة الحرارة تكاثف المواد ذات درجة الانصهار العالية الى حبيبات فى حجم حبات الرمل وقد تصلبت المواد مثل الحديد والنيكل أولا. يلى ذلك العناصر التى تكون معادن الصخور. وعند ارتطام هذه الحبيبات مع بعضها البعض تتجمع لتكون أجساما فى حجم كويكبات. وقد تكتلت هذه خلال عدة عشرات من ملايين السنين لتكون الكواكب الاربعة الداخلية وهى عطارد والزهرة والارض والمريخ. وعندما استمر استنزاف هذه المواد السديمية اكثر فأكثر من قبل هذه **الكواكب الاولية**، فان المجموعة الشمسية الداخلية ابتدأت فى الانقشاع معطية الفرصة لضوء الشمس لتسخين اسطح الكواكب. اما الكواكب الداخلية فهى غير قادرة على تجميع الكميات الكبيرة من المواد الخفيفة من السحب السديمية وذلك نظرا لارتفاع درجة الحرارة وضعف جاذبية هذه الكواكب. وقد تم شفط هذه المواد وهى الهيدروجين والامونيا والميثان والماء من الجزء الداخلى للمجموعة الشمسية بواسطة الرياح الشمسية.

وبعد تكون الكواكب الارضية الاربعة بقليل نجم عن النظائر المشعة وكذلك الحرارة الناتجة عن ارتطام الجزيئات بعض الانصهار فى باطن هذه الكواكب. وقد سبب الانصهار بدوره غوص العناصر الثقيلة وخاصة الحديد والنيكل، فى حين طفت الى اعلى المعادن الخفيفة المكونة من معادن السليكات. وخلال هذه الفترة من الفرز الكيماوى تمكنت المواد الغازية من الانطلاق من داخل الكواكب، مثلما يحدث خلال نشاط بركانى فوق الأرض. ولم يتمكن عطارد وهو ثانى أصغر الكواكب واكثرها ارتفاعا فى درجة الحرارة من الاحتفاظ حتى بأثقل الغازات. والمريخ من ناحية أخرى لكونه اكبر قليلا وابرد من عطارد تمكن من الاحتفاظ بطبقة رقيقة من ثانى اكسيد الكربون، وبعض الماء فى شكل جليد. واكبر الكواكب فى مجموعة الكواكب الصخرية هما الزهرة والأرض. فلكل منهما جاذبية سطحية قوية كافية للاحتفاظ



شكل 20 ـ 2

أشكال نموذجية تمثل التركيب الداخلى لكواكب ارضية وأخرى جوبيتيرية (المشترى).(أ) ـ المشترى وزحل. (ب) ـ اورانوس ونيبتون. (جـ) ـ كواكب ارضية.

بكمية لا بأس بها من الغازات الثقيلة. الا انه عند مقارنتها بالكواكب الغازية الأربعة نجد أن الصورة تختلف. فحتى اغلفتها الجوية تنظر اليها على انها طفيفة فى احسن الاحوال. وفى نفس الوقت الذى كانت تتكون فيه الكواكب الصخرية، فان الكواكب الغازية لكبر حجمها وما يتبعها من اقمار عديدة كانت ايضا فى مرحلة التكوين. الا انه نتيجة البرودة القارسة والسائدة بعيدا عن الشمس، فان الجزيئات المكونة لهذه الكواكب قد احتوت على نسبة كبيرة من الجليد والماء وثانى أكسيد الكربون والامونيا والميثان.

وربما بمحض الصدفة نما اثنان من الكواكب الغازية وهما المشترى وزحل عدة مرات (فى الكتلة) اكثر من اورانوس ونبتون. وبالمقارنة فان المشترى تفوق كتلته حوالى 318 مرة وزحل 95 مرة كتلة الأرض. أما اورانوس ونبتون فلهما كتل تقدر بحوالى 14 و 17 مرة من كتلة الأرض على التوالى. وعندما وصل المشترى وزحل حجما يقدر بعشر مرات من كتلة الأرض اصبحت لسطحهما جاذبية كافية لجذب والحفاظ على اخف المواد وهما الهيدروجين والهيليوم. ويعتقد بأن هذه الغازات قد فقدت جاذبيتها عند وقوعها فى مجال جاذبية الكواكب الاولية عند مرورها بالقرب من هذه الكواكب ولم تتمكن من الهروب. وعليه فان حجم هذه الكواكب الاولية راجع للغلاف الجوى الكبير من العناصر الخفيفة والتى تتواجد على هيئة سائل كثيف تحت غلاف جوى سميك وغنى بالهيدروجين. وعليه فان المشترى وزحل يحتويان على لب وسطى من الجليد والصخر وعلى غلاف خارجى اكبر بكثير يحتوى غالبا على الهيدروجين والهيليوم (شكل 20 ـ 2).

خلافا لذلك فان الكواكب الغازية اورانوس ونيبتون قد نمت بأقل سرعة وهى تحتوى على كميات اقل من الهيدروجين والهيليوم. ورغم ذلك فان الهيدروجين والميثان والامونيا ما زالت هى المكونات الرئيسية لهذه الاجواء الكثيفة وربما تواجد محيط هيدروجينى خارجى رقيق على هذه الكواكب ايضا. ومن المعتقد ان لكل من اورانوس ونيبتون لب صخرى حديدى صغير ووشاح كبير من الماء والامونيا والميثان ومن حوله محيط رقيق من الهيدروجين السائل (شكل 20 ـ 2). اذا فان هذه الكواكب تشبه المشترى وزحل دون وجود الغلاف الكثيف من الهيدروجين ـ الهيليوم.

ومن نواحى عدة فان تطور الكواكب الخارجية وأنظمة اقمارها الكبيرة توازى عموما الأحداث التى كونت المجموعة الشمسية ككل. ومثلما هو الحال فى الكواكب الخارجية الام فان اقمارها تتكون اساسا من مواد جليدية مع كميات اقل من مواد صخرية. ونظرا لصغر حجم هذه الاقمار فانها ليس بمقدورها الاحتفاظ بكميات كبيرة من الهيدروجين والهيليوم.

وفى الجزء الباقى من هذا الفصل سوف نتفحص كل كوكب بشىء من التفصيل، اضافة الى بعض الاعضاء الثانوية فى المجموعة الشمسية. الا انه من المناسب البدء بمناقشة القمر، رفيق الأرض فى الفضاء.

القمر

هناك قمر طبيعي وحيد يرافق الأرض فى دورانها السنوى حول الشمس. وهذا النظام الخاص بالقمر الكوكبى فريد من نوعه فى المجموعة الشمسية، وذلك بسبب حجم القمر الكبير مقارنة بالكوكب الأم وهو الأرض. ويبلغ قطر القمر 3475 كيلومترا. وقد وجد ان كثافته تبلغ 3.5 ضعف كثافة الماء. وتقارن هذه الكثافة بكثافة الصخور فى القشرة الأرضية، الا انها اقل من متوسط كثافة الأرض. ويقترح الجيولوجيون بأن هذا الاختلاف يمكن ارجاعه الى صغر حجم لب القمر. وتبلغ الجاذبية على سطح القمر سدس ما هو معروف على سطح الأرض. وهذا الفارق يمكن رواد الفضاء من حمل أجهزة ثقيلة بيسر. وعندما لا يكون حاملا ذلك الوزن، يستطيع الرائد الفضائى ان يقفز ستة مرات اعلى من قفزته على الأرض متخطيا ببساطة مبنى من دور واحد.



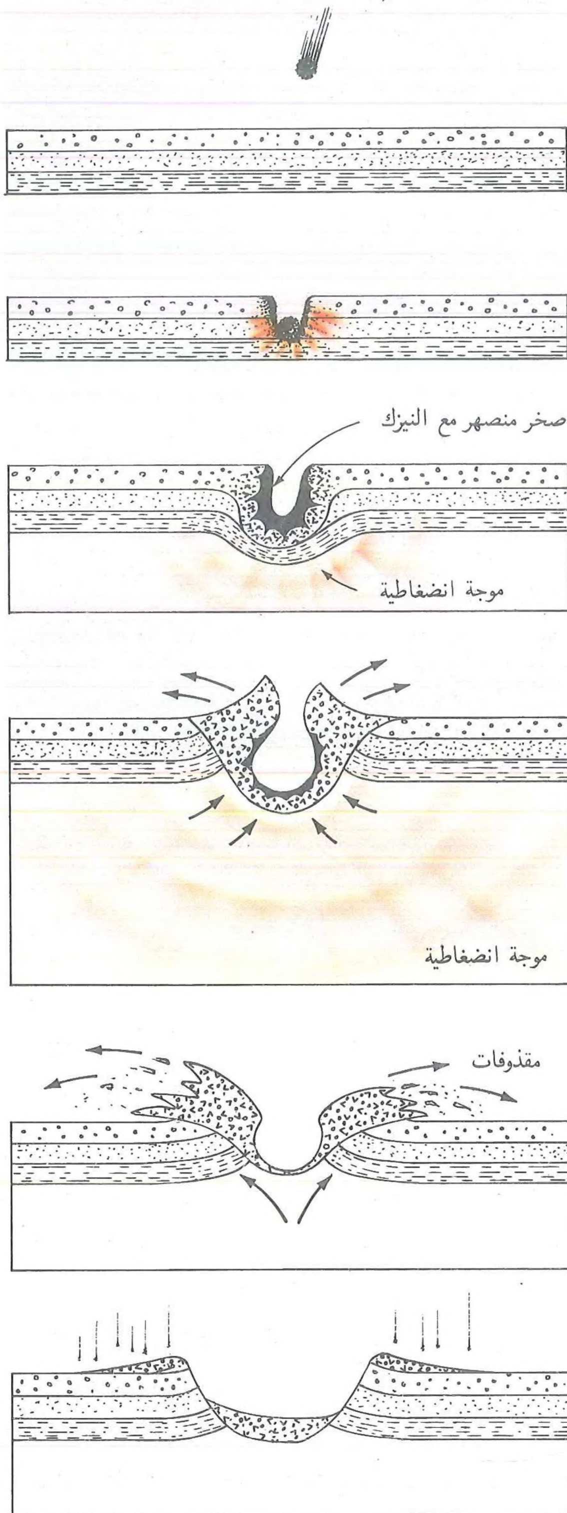
شكل 20 ـ 3
سطح القمر كما يرى بالمنظار المقرب (تليسكوب).

سطح القمر

عندما وجه قاليليو منظاره ناحية القمر لأول مرة، رأى نوعا من التضاريس (شكل 20 ـ 3). فالمناطق الغامقة التى لاحظها معروفة الآن بأنها مناطق منخفضة ممهدة، فى حين ان المناطق البراقة كانت مرتفعات مرصعة بالفوهات المفتوحة. ولكون هذه المناطق الغامقة شبيهة بالبحار فلقد سميت أخيرا **البحار**. وهذه التسمية لا تعكس الحقيقة، اذ ان القمر خالٍ من المياه كلية. ونعرف اليوم بأن القمر ليس له غلاف جوى، وانه يفتقر للمياه كذلك. وعليه فان وسائل التجوية والتعرية التى تغير باستمرار سطح الأرض مفقودة تماما هناك. اضافة الى ذلك فان الحادثات الحركية مثل الزلازل والفورات البركانية لا تحدث على القمر. وحيث انه لا يحمى القمر غلاف جوى فان جزئيات صغيرة (نيازك صغيرة) تمطر سطحه باستمرار. فالصخور مثلا يمكن ان تصبح دائرية نسبيا اذا استمرت متكشفة على سطح القمر لفترة كافية. وبالرغم من ذلك، فانه من المستبعد بأن يكون قد جرى أى تغيير على القمر خلال الثلاثة بلايين سنة الماضية، باستثناء اضافة بعض من الفوهات الكبيرة. واكثر المظاهر

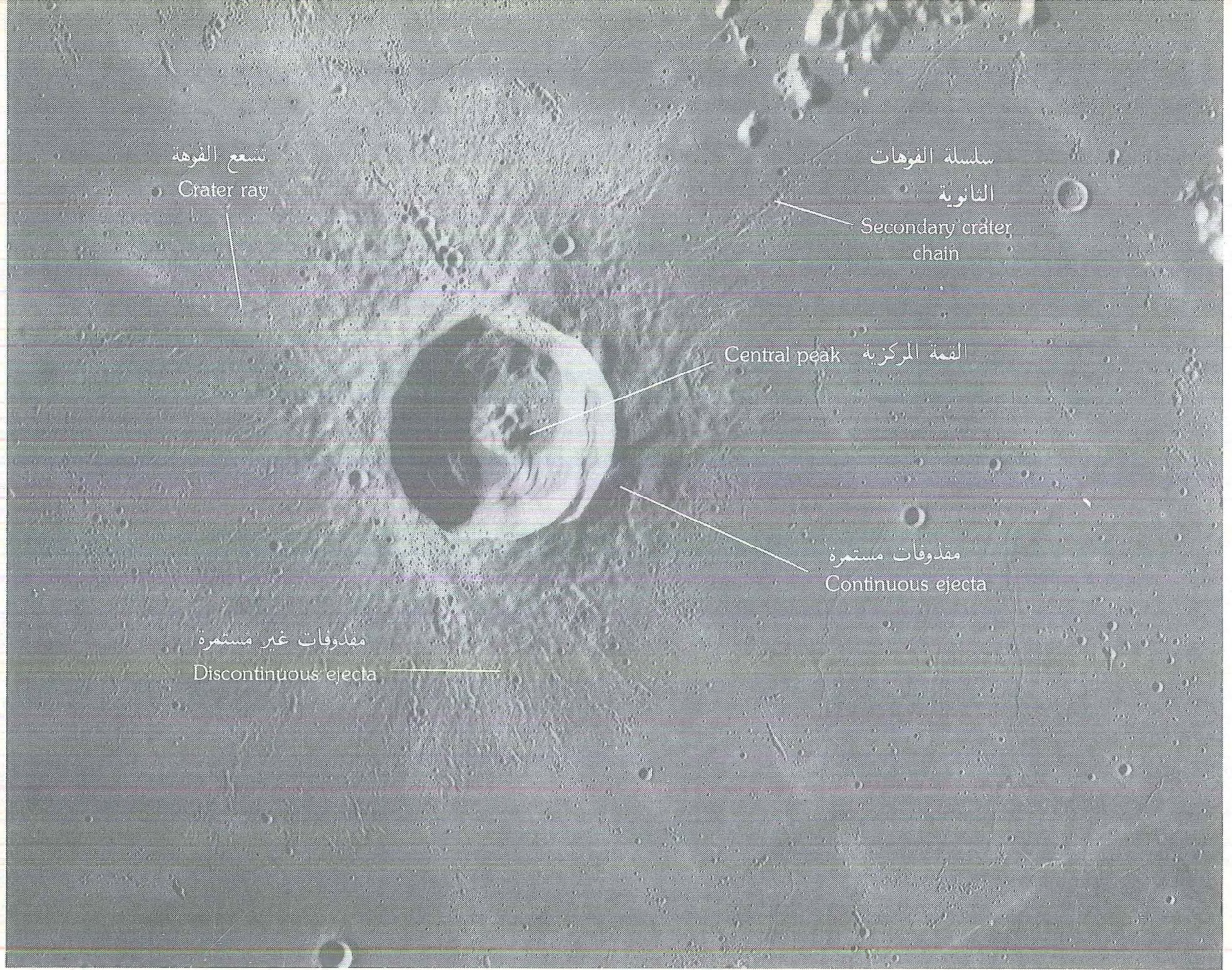
وضوحا على سطح القمر هى الفوهات. ومن كثرتها فانه اصبح كقاعدة وجود فوهة داخل اخرى داخل ثالثة. وكبريات هذه الفوهات يمكن ملاحظتها فى اسفل الشكل 20 ـ 3 حيث يبلغ قطرها حوالى 250 كم. وهذه عادة ما تتداخل. وأغلب هذه الفوهات قد نتجت عن تصادم أجسام سريعة الحركة (الشهب أو النيازك). وهذا التصادم اكثر شيوعا فى التاريخ المبكر للمجموعة الشمسية مما عليه الآن. وخلافا لذلك فانه يوجد على الأرض فقط دستة من فوهات الارتطام هذه. ويرجع هذا الاختلاف الى الغلاف الجوى الأرضى، والذى يحرق كل هذه الجزئيات قبل وصولها الى سطح الأرض. اضافة الى ذلك، هناك دلائل على تكوّن العديد من هذه الفوهات فى التاريخ القديم للأرض، الا ان عوامل التعرية والعوامل الحركية قد دمرتها. ويبين الشكل 20 ـ 4 مراحل تكون فوهة اصطدام. فعند الاصطدام، تضغط الحبيبات على الصخور السطحية التى تصطدم بها، وفى نفس اللحظة تقريبا يتكوّن ضغط ارتدادى من قبل الصخور المضغوطة، فتقذف بالمواد من خارج الفوهة. وهذه العملية تشبه النثر أو الرش الذى يحصل عندما يقذف بحجر الى الماء. وعادة ما ينتج عن هذه العملية تكون ذروة مركزية كما هو مبين فى الفوهة الكبيرة بالشكل 20 ـ 5. واغلب المواد المقذوفة (**مقذوفات**) تسقط قريبا من الفوهة مكونة حافة تحيط بالفوهة. اما الحرارة الناتجة عن الاصطدام فهى كافية لصهر بعض من الصخور المتأثرة.

ولقد احضر رواد الفضاء معهم من القمر عينات خرزية من الزجاج تكونت بهذه الطريقة، اضافة الى صخور



شكل 20 ـ 4

تكوّن فوهة الاصطدام. تتحول طاقة الجسيم النيزكى السريع الحركة الى طاقة حرارية وموجات انضغاطية. ويتسبب ارتداد الصخور المضغوطة فى انبعاث الحطام الصخرى من الفوهة، كما تنصهر بعض المواد نتيجة للحرارة مكونة خرزا زجاجيا. وتتكون فوهات ثانوية صغيرة نتيجة ارتطام القطع المتناثرة من فوهة الاصطدام الرئيسة.



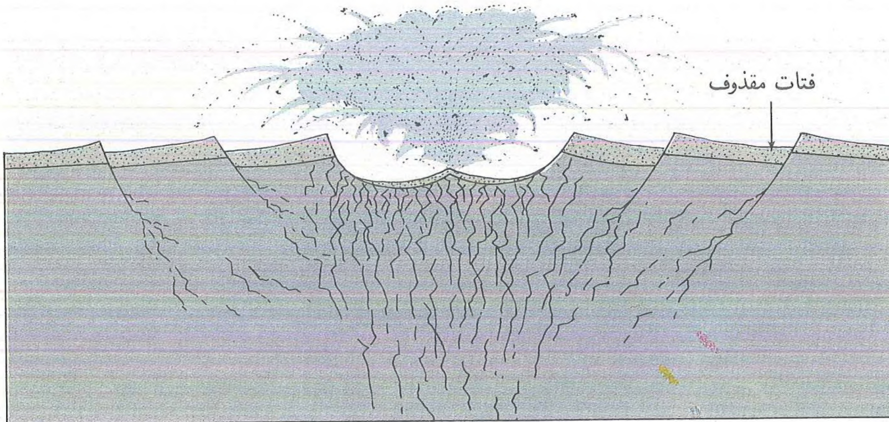
شكل 20 ـ 5

فوهة ايولر على سطح القمر عرضها 20 كيلومترا وتقع بالجنوب الغربى من بحر امبريوم. وتظهر بوضوح الاشعة اللامعة، القمة الوسطى، الفوهات الثانوية، وتجمع كبير من المقذوفات قريبا من حافة الفوهة.

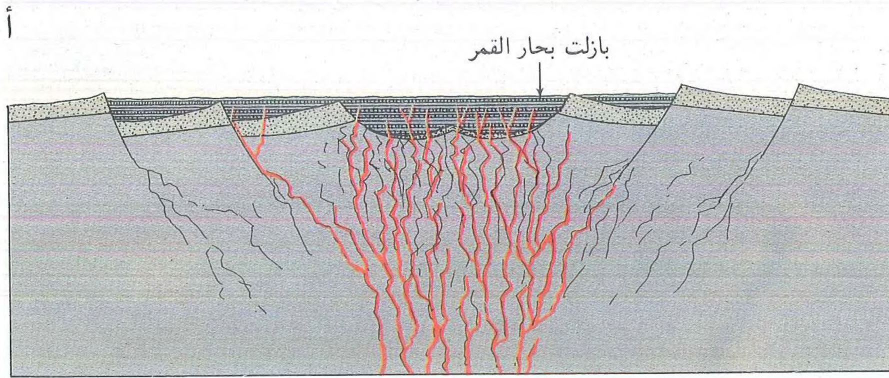
مكونة من التحام قطع صخرية محدبة مع حبيبات غبار التجمد نتيجة للاصطدام وهذه المواد الاخيرة تسمى بريشة القمر.

وبامكان نيزك قطره ثلاثة امتار ان يفجر فوهة بقطر 150 متر. وبعض من الفوهات الكبرى، مثل كيبلر وكوبيرنيكس المبينة بالشكل 20 ـ 3، قد تكونت اثر اصطدام اجسام قطرها كيلومتر او اكثر. وهاتين الفوهتين يعتقد بأنهما حديثتين نسبيا حيث ان اشعتهما (آثار النثر او الرش) تنتشر لمئات من الكيلومترات بعيدا. وهذه الآثار اللامعة تحتوى على شظايا رفيعة مقذوفة من الفوهة التى زحزحت اثناء تكون فوهات ثانوية صغيرة.

وتشمل المناطق المرتفعة المعلمة بآثار الاصطدامات الكثيرة اغلب سطح القمر. وفى الواقع فان كل الجزء «الخلفى» من القمر متميز بهذا النوع من التضاريس. وفى هذه المناطق المرتفعة توجد سلاسل جبلية استمدت اسماءها من سلاسل جبلية على الأرض. وأعلى ذروة قمرية تصل الى ارتفاع يقترب من 8 كيلومترات، أى اقل من جبل ايفرست بكيلومتر واحد فقط . وبالرغم من أن المناطق المرتفعة هى السائدة، الا ان المناطق الاقل وعورة والتى تسمى (بحارا) هى الأكثر جاذبية. وقد اعتقد جيولوجى امريكى وهو ج. ك. فليبرت قبل بداية هذا القرن بأن اصل احواض البحار هذه هو نتيجة لاصطدامات ضخمة من قبل دستة من اجسام فى



أ



ب

شكل 20 ـ 6

تكون بحار القمر. (أ) ـ اصطدام جسم فى حجم كويكب سيَّار أنتج فوهة ضخمة بلغ قطرها مئات الكيلومترات وتسببت فى نشر القشرة الصخرية القمرية بعيداً عن الفوهة. (ب) ـ امتلاء منطقةالفوهة بالبازلت السائل ربما نتج عن انصهار جزئى لبعض مواد الوشاح القمرى العميق.

حجم الكويكبات السيارة (شكل 20 ـ 6 أ) الا ان بعثات ابولو هى التى تحققت من طبيعة المواد التى تملأ هذه المنخفضات بحيث جعلت منها مناطق منبسطة نسبيا. ويبدو ان هذه الفوهات قد غمرت بطبقات متتالية من طفوح اللابه البازلتية شديدة السيولة فيما يشبه نجد كولومبيا بشمال غربى الولايات المتحدة (شكل 20 ـ 6 ب). والصورة المبينة بالشكل 20 ـ 7 توضح الحافة الأمامية لطفح لابة قد تجمد بمكانه . وقد تمكن رواد الفضاء ايضا من مشاهدة وتصوير طبيعة البحار الطباقية. فالطبقات يزيد سمكها غالبا عن 30 مترا ويبلغ السمك الكلى للمواد التى تملأ البحار آلاف الامتار. وفى عدة حالات اجتاز طفح اللابه حافة الفوهة غامرا المناطق المحيطة المنخفضة. واذا ما ظهرت بقايا الفوهة فوق اللابه فانه بالامكان التعرف على سمك الطفح. ويعتقد كثير من الجيولوجيين بأن الارتطامات المكونة لاحواض البحار كانت ضخمة الى حد انها كونت شقوقا فى القشرة القمرية امتدت لمسافات بعيدة. ومن امثلة هذه الأحواض قد ملئت بالكامل بحر السكون، وهو الموقع الذى وطأته رجل اول انسان على سطح القمر، وبحر الامطار. ويملأ البازلت فى بعض هذه البحار مركز الفوهة فقط .

وتظهر هذه بأرضيات غامقة، ممهدة بالشكل 20 ـ 3. وتغطى كل التضاريس القمرية بطبقة رمادية من الحطام غير متصلب والمتجمع من قذائف النيازك خلال آلاف الملايين من السنين الماضية (شكل 20 ـ 8). وهذه الطبقة الشبيهة بالتربة، التى تجدر تسميتها **بالهشيم القمرى**، تتكون من الصخور النارية وبريشه وخرز زجاجى وجزئيات دقيقة تسمى عادة غبار القمر، وعندما ترتطم النيازك واحدة بعد الاخرى فان سمك طبقة الهشيم تزداد فى حين حجم الحبيبات يقل. وفى البحار التى استكشفها رواد ابوللو، وجد